
FACULTAD DE QUIMICA

U.N.A.M.

**Estudio Técnico Económico para Instalar una Torre
de Enfriamiento de Agua en una Planta Productora
de Hormonas - Esteroides**

T E S I S

Que para obtener el título de :
INGENIERO QUIMICO
p r e s e n t a :
SYLVIA MICHELLE MOURET ZUAZUA

México, D. F.

1977





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CLAS. Tesis 1977

ABO. 11-01-82

FECHA _____

PROC. _____

294



QUIMICA

A MIS PADRES

A MA. DEL PILAR, RAUL y JORGE ZUAZUA

A LA FACULTAD DE QUIMICA, A MIS MAESTROS
Y AL ING.. FRANCISCO VILLALPANDO J.

A G R A D E C I M I E N T O .

Agradezco profundamente la ayuda que para la realización de este trabajo, me proporcionaron las siguientes personas:

El Señor Ingeniero Carlos Manero, Vicepresidente Ejecutivo de B.E.I.S.A., que tan gentilmente autorizó mi presencia en la planta de la Beneficiadora e Industrializadora, S. A., - durante la realización de este trabajo. El Señor Ingeniero Miguel Escobar, Vicepresidente de operaciones de B.E.I.S.A., quien eligió el tema de esta Tesis y me ofreció su asesoría técnica. Así mismo la colaboración del Ingeniero Mario Guillén, Gerente de Producción de la empresa, sin olvidar la valiosa ayuda prestada por los señores Waldo Cobos y Basilio Fajardo.

Muy especialmente quiero agradecer al Señor Ingeniero Eduardo Rojo y de Regil, el interés mostrado y la ayuda prestada para la posible elaboración de esta Tesis.

INTEGRANTES DEL JURADO

PRESIDENTE: Prof. JAVIER GARFIAS A.
VOCAL: Prof. Eduardo Rojo y de Regil.
SECRETARIO: Prof. Rudi P. Stivalet-Corral.
1er.SUPLENTE: Prof. Roberto Andrade - Cruz.
2o. SUPLENTE. Prof. Natalia de la Torre Aceves.

TEMA DESARROLLADO EN:

BENEFICIADORA E INDUSTRIALIZADORA, S.A. de C. V.

V. B. 2
S. Michelle Mouret Zuazua
Natalia de la Torre

SUSTENTANTE: S. MICHELLE MOURET ZUAZUA.

ASESOR: ING. EDUARDO ROJO Y DE REGIL

I N D I C E .

	PAGINA.
NOMENCLATURA.	(1)
PROLOGO.	(5)
CAPITULO I	(7)
INTRODUCCION.	
CAPITULO II.	(15)
FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA TRASFERENCIA SIMULTANEA DE MASA Y CALOR.	
I) CONCEPTOS BASICOS.	
1.- Humedad Relativa.	16
2.- Volúmen Húmedo.	17
3.- Temperatura de Rocío.	20
4.- Temperatura de Bulbo Húmedo.	20
5.- Temperatura de Saturación Adiabática.	22
6.- Carta Psicrométrica.	22
II) OPERACIONES DE CONTACTO AIRE-AGUA.	
1.- Deshumidificación.	25
2.- Humidificación.	27
3.- Balances de Materia y Energía.	28
4.- Ecuaciones para la Obtención de Condi <u>o</u> nes de equilibrio y de interfase.	34
5.- Ecuaciones para el Cálculo de Número de- Unidades de Transferencia.	37

ANALISIS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE TORRES DE ENFRIAMIENTO Y FACTORES A CONSIDERAR EN UN DISEÑO.

I) DIFERENTES TIPOS DE TORRES DE ENFRIAMIENTO.	
1.- Tanques de Almacenamiento.	42
2.- Torres de Circulación Natural.	42
3.- Torres de Tiro Mecánico.	44
II) FACTORES A CONSIDERAR PARA EL DISEÑO DE TORRES DE ENFRIAMIENTO.	45
1.- Consideraciones en la Elección de la Torre de Enfriamiento.	46
a) Tipo de proceso involucrado.	46
b) Operaciones a alta temperatura.	47
c) Torres de enfriamiento para plantas químicas.	48
d) Efecto de las temperaturas de bulbo húmedo y seco.	48
2.- Tratamiento de Agua.	50
3.- Materiales de Construcción.	51
4.- Análisis de la madera	52
a) Especies con madera de corazón de alta-resistencia a podrirse.	53
5.- Metales para el Herraje de Tuberías.	54
6.- Plásticos, Tablones de Cemento-Asbesto.	55
7.- Engranajes y Motores.	56
8.- Unidades de Cabeza Engranada.	57
9.- Ejes de Transmisión, Acoplamientos y Guardas de Flechas.	58

10.- Soportes de Acero Estructural.	63
11.- Anillos de Ventilador, Interruptores de Vibración.	63
CAPITULO IV.	66
SELECCION DE LA ALTERNATIVA MAS ADECUADA Y DESCRIPCION GENERAL.	
I) Seleccion del EQUIPO.	66
II) FUNCIONAMIENTO GENERAL.	68
III) ESTRUCTURA.	68
1.- Tratamiento de la Madera.	69
2.- Cubierta del Ventilador.	69
3.- Eliminadores de Brisa.	70
4.- Paredes Divisorias.	70
a) Transversales.	
b) Longitudinales.	
5.- Carcaza.	71
6.- Persiana.	72
7.- Empaque.	73
a) Polygrid.	
b) Madera de pino.	
8.- Sistemas de Distribución de Agua.	74
9.- Acceso.	75
10.- Ventilador.	76
11.- Ventiladores de 12' de diámetro.	76
13.- Acoplamiento.	77

OPERACION Y MANTENIMIENTO. PREPARACION
DE LAS TORRES PARA SU OPERACION.

I) PUESTA EN MARCHA O ARRANQUE DE LAS TORRES	80
1.- Llenado de Agua del Sistema.	80
2.- Arranque del Ventilador.	80
II) OPERACION DE LAS TORRES.	81
1.- Operación de los ventiladores.	81
2.- Recipientes de Distribución del Agua Caliente.	81
3.- Recipientes de Colección de Agua Fría.	82
4.- Agua de Repuesto y Purga Continua.	84
5.- Operación en Invierno.	84
6.- Operación intermitente en Invierno.	85
7.- Estructura de la Torre.	86
8.- Relleno de Madera.	87
9.- Lubricación del Motor.	87
10.- Chumaceras.	87
11.- Bandas "v"	88
12.- Reductores.	88
13.- Flechas de Transmisión.	88
14.- Ventiladores.	88
15.- Protección anticorrosiva.	88
16.- Espuma.	91
17.- Decoloración del Agua.	91
18.- Refacciones.	92

III) ANALISIS DE LOS PROBLEMAS EN LAS TORRES, SUS CAUSAS Y SOLUCION.	93
IV) INSTRUCCIONES PARA PONER FUERA DE OPERACION LAS TORRES POR EPOCA DEL AÑO.	95
1.- Recipientes y Estructura.	95
2.- Equipo Mecánico.	96
a) Válvulas de control de flujo.	
b) Reductores.	
c) Motores eléctricos.	
CAPITULO VI.	97
ANALISIS DE LAS VARIABLES INVOLUCRADAS EN EL CASO DE LA PLANTA DE ESTEROIDES.	
I) DESCRIPCION DEL AREA DE TRABAJO.	97
II) TEMPERATURA DEL AGUA CALIENTE.	100
III) TEMPERATURA DEL BULBO HUMEDO.	101
IV) ANALISIS DEL CICLO DE OPERACIONES DEL SISTEMA Y CALCULO DEL GASTO VOLUMETRICO DE <u>A</u> GUA A MANEJAR.	103
V) TRATAMIENTO DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO PARA CONTROL DE CORROSION.	107
CAPITULO VII.	111
I) MODELO MATEMATICO.	
1.- Número de Unidades de Transferencia de - la torre de Efriamiento.	111
2.- Area del Piso VS Altura.	114
3.- Pérdidas de Presión.	115
4.- H.P. del Ventilador para una Torre de <u>Ti</u> ro Mecánico.	116
II) DISEÑO PARA INSTALAR UNA TORRE NUEVA.	117

III) POTENCIA DE LA BOMBA.	124
CAPITULO VIII.	129
ESTUDIO ECONOMICO.	
I) ESTIMACION DE LA INVERSION.	129
II) COSTOS DE OPERACION ANUALES.	130
CAPITULO IX.	131
DISCUSION DE RESULTADOS.	
CAPITULO X.	136
CONCLUSIONES	
APENDICE A.	137
INDICE DE ESQUEMAS.	
BIBLIOGRAFIA.	142

N O M E N C L A T U R A .

- \bar{P}_a Presión parcial del componente condensable en fase- -
gas.
- P Presión total de la fase gas.
- $(\bar{P}_a)_s$ Presión parcial del componente condensable en la satu-
ración.
- y_s, X Fracción mol de saturación del componente condensable
en el vapor y en la fase líquida respectivamente.
- Y Relación molar del componente condensable al componen-
te no condensable (humedad molar).
- y Fracción mol del componente condensable en el vapor.
- Y' Humedad (contenido de vapor en un gas).
- Y_s Humedad molar presente en la saturación.
- M_a, M_b Pesos moleculares de los componentes condensables y no
condensables respectivamente.
- P_a° Presión de vapor del componente condensable.
- V_H Volúmen molar húmedo.
- T Temperatura absoluta.
- C_s Calor molar húmedo.
- C_a, C_b Capacidades caloríficas molares de los componentes con-
densable y no condensable respectivamente.
- H Entalpía molar.

T_0	Temperatura Inicial.
t_0	Temperatura base.
t_G	Temperatura del bulbo seco del aire.
λ_0	Calor latente de vaporización del agua a la temperatura base.
Y_i'	Humedad en la interfase.
G'	Gasto másico de aire.
L'	Gasto másico de agua.
t_L	Temperatura de líquido.
t_i	Temperatura en la interfase.
H_L'	Entalpía de líquido.
G_S	Gasto másico de gas seco.
G_W	Gasto másico del vapor que proporciona la humedad.
s	Area de contacto para la transferencia de masa por unidad de área de sección transversal del equipo.
a	Area de superficie interfásica por unidad del volumen del equipo.
Z	Altura de la torre.
r	Relación de Lewis.
h_L	Coficiente de transferencia de calor en la fase líquida.
h_G	Coficiente de transferencia de calor en la fase gaseosa.
H_1'	Entalpía inicial.
H_2'	Entalpía final.

H^*	Entalpía en las condiciones de equilibrio.
t	Temperatura en grados Fahrenheit.
Re	Número de Reynolds ($dv \dot{\gamma} / \mu$).
R	Constante de los gases.
k_Y	Coficiente individual para la transferencia de masa- expresado en términos de humedad.
K_Y	Coficiente total de transferencia de masa.
NTOG	Número de unidades de transferencia (condiciones de <u>e</u> quilíbrio).
HTOG	Altura de las unidades de transferencia condicones de equilíbrio.
NTG	Número de unidades de transferencia (Condiciones de- interfase.
HTG	Altura de las unidades de transferencia, condiciones- de interfase.
$\frac{K_a V}{L'}$	Número de unidades de transferencia de la torre de <u>en</u> friamiento (Método Pritchard.)
$A, n, B,$ C', S_F	Valores constantes dependientes del tipo de empaque - escogido para la torre.
$\frac{L'}{G_a}$	Relación del gasto de líquido al gasto del aire.
N'	Número de niveles.
F	CFM de gasto actual a la entrada del ventilador.
P_s	Presión estática total del ventilador.
D_i	Diámetro interno de la tubería.

D	Diámetro comercial de la tubería.
v	Velocidad.
Q	Gasto volumétrico de líquido.
s	Area de flujo.
h_{fs}	Pérdidas por fricción.
L_e	Longitud equivalente.
L_T	Longitud total de la tubería.
L_t	Longitud de tubería.
\bar{w}	Trabajo suministrado por la bomba.
f	Factor de fricción.
a	Factor de amortización.
b	Factor de mantenimiento.
F	Factor de ajuste.
X	Costo en dlls./ft de tubería.
w	Miles de Lb. de líquido/hr.
Y	Horas de operación por año.
K	Costo de la energía eléctrica.
E	Eficiencia del motor-bomba
	Viscosidad absoluta.
	Densidad.
P'	Pérdidas de presión en una torre.

P R O L O G O .

El objetivo de esta tesis es llevar a cabo un estudio técnico económico para la instalación de una torre de enfriamiento de agua en la empresa Beneficiadora e Industrializadora, S. A., de C. V., dado que esta planta consume mucha agua para el proceso, se pensó que era posible economizar algo en este aspecto. El proyecto se decidió después de ver la cantidad de agua que se desperdiciaba, y que como era en su mayor parte agua caliente que salía de los equipos enfriadores, -- constituía un serio problema para la contaminación térmica del agua, y también dado que de acuerdo con la Legislación Impositiva del Edo. de México y con el Artículo 106 que dice:

"El uso de agua que produzcan los pozos artesianos -- dentro de las zonas urbanas o rústicas causarán impuesto bimestral de acuerdo con la siguiente tarifa:

Para usos industriales y comerciales se cubrirá una cuota nominal de \$ 1.00 por metro cúbico extraído: " (entrando esta ley en vigor en enero de 1975) iba a producir un aumento considerable en los gastos generales de la empresa, se pensó en instalar una torre de enfriamiento diseñada para las necesidades de la planta con el fin de evitar el gasto superfluo de agua, siendo ya necesario sólo una mínima recircula-

ción de ella, dadas las pérdidas por arrastre del viento.

Esto constituiría " a priori " un ahorro en el presupuesto anual. El estudio tendría que llevarse a cabo lo más rápidamente posible para que en caso de justificarse la inversión, se pudiera hacer el pedido inmediatamente apresurado el tiempo de entrega de la misma, antes de que por motivos de inflación hubiera un alza en las cotizaciones.

Se establecen en el segundo capítulo los fundamentos teóricos de la transferencia simultánea de masa y calor, analizando los conceptos básicos y las operaciones de contacto aire-agua. En seguida se hace un análisis de los diferentes tipos de torres de enfriamiento de agua que existen y los factores importantes a considerar en su diseño (Capítulo III) así como de la selección de la mejor alternativa y su descripción (Capítulo IV). En el capítulo siguiente se efectúa un resumen de los factores importantes para operar satisfactoriamente y mantener en óptimo estado la susodicha torre a partir del VI capítulo da comienzo la parte técnica de la tesis, es decir se analizan las variables involucradas en la planta, se procesan dichos datos para calcular la torre y finalmente se lleva a cabo un estudio económico para determinar si es conveniente o no su instalación.

C A P I T U L O I

INTRODUCCION.

La industria del barbasco, producto original del suelo mexicano, es una de las más antiguas y productivas en la conquista de mercados y divisas. (1).

El barbasco es la materia prima para la fabricación de hormonas esteroides, que tienen que ver con el problema de la procreación y explosión demográfica, que tanto inquieta a Estados Unidos y países de Europa.

Las hormonas esteroides son productos químicos con actividad farmacológica que se utilizan en la elaboración de medicamentos. Los principales grupos de hormonas esteroides son:

corticoides, progestenos, estrógenos, andrógenos, anabólicos. Químicamente, las hormonas esteroides tienen un núcleo común de ciclopentano perhidrofenantreno, estructura compleja, susceptible de obtenerse por síntesis total o bien de fuentes naturales.

El barbasco se localiza en la selva tropical del su-

NOTA: Los números entre parentesis son referencias bibliográficas.

(1) Julián de Llantada. La industria del Barbasco Fuente de Divisas y Factor de Tecnología. Novedades (30-XII-1972).

reste de México, y es un tubérculo salvaje, oscuro y fibroso que produce un pequeño porcentaje de diosgenina (2), que es una sustancia química que se transforma mediante operaciones químicas en hormonas esteroides sintéticas. Miles de personas se ocupan en la colección y en el proceso de elaboración para llegar a los productos finales que alivian la artritis, el asma, regulan el metabolismo y controlan la fertilidad.

En las primeras fases de investigación para producir, por medios químicos, escasas cantidades de hormonas esteroides, fueron necesarios 15,000 litros de orina para producir menos de trescientos miligramos de testosterona pura cristalizada, precisándose los ovarios de más de 80,000 vacas para lograr doce miligramos de estradiol. La prescripción de hormonas sexuales era prohibitiva debido a su elevado costo. Al comienzo de los años 40, la utilidad médica de los esteroides sexuales ya no se discutía. Las principales revistas médicas publicaban en informes de grupos de investigación clínica que creaban nuevos usos para la testosterona, los estrógenos y la progesterona.

Rusell Marker, químico de Pensylvania, empezó una investigación que lo condujo a las selvas de México, seguro de que podía encontrar otras materias primas naturales de las = que podía obtener de una manera más económica esteroides se-
(2) Tributo a una Planta, Dioscorea Composita. El Mundo de Schering Corporation, USA. Volumen 3, 1970.

xuales. De las numerosas plantas que había recogido, la raíz de la Dioscorea produjo el más elevado contenido de una substancia llamada dioagenina, un producto de partida.

No pudiendo obtener apoyo para su proyecto, Marker regresó a la selva en 1934 en busca de la enredadera que los nativos llaman cabeza de negro, Dioscorea Machrostachia, saliendo de la selva con suficientes sacos de esta planta para iniciar la extracción, obteniendo finalmente 2 kilos de progesterona, fabricada mucha más de la que nadie había visto nunca en un solo lote, con valor de ciento sesenta mil dólares. Esencialmente, la operación de colección de raíz es todavía algo parecida a lo que era cuando el profesor Marker la recogió por primera vez. Las raíces son desenterradas durante la " estación muerta ", es decir, después que las cosechas de frijol, café, tabaco y caña de azúcar han sido recogidas. Con frecuencia, los trabajadores siguen independientemente los senderos de la montaña hacia la selva buscando las enredaderas de Dioscorea, comúnmente llamada barbasco.

Más tarde se descubrió que otra especie de Dioscorea-Composita producía una mayor cantidad de diosgenina. La identificación es importante porque hay muchas especies de Dioscorea en México y en el mundo, que no rinden en igual cantidad. Cuando se encuentra la planta, los nativos arrancan las raíces color café que varían en peso desde medio hasta veín-

te kilos, con un peso medio por raíz de cinco kilos. El interior es húmedo, fibroso y ligeramente coloreado de rosa. Tras cortar esas raíces en trozos, los nativos llenan sacos de 50 kilos, transportándolos a los centros de colección donde se pesan y se venden. En las lejanas estaciones de beneficio como las de Tuxtepec, Oaxaca, las raíces se separan de piedras y otras materias extrañas y se pasan por un molino que las tritura finamente. La masa de tubérculos triturados se coloca en tanques de fermentación de cemento, poco profundos, -- donde las bacterias del aire liberan la diosgenina. Cuando se condiera terminada la fermentación, dicha masa se extiende en plantillas de cemento bajo el cálido sol tropical. Aquí se reduce el contenido original del agua de las raíces -- de 70 a 80% hasta disminuirlo aún por 3%. Disminuido así el peso en casi sus 4/5 partes las raíces secas se reempaquetan y se envían por camión a la planta de transformación de Schering, Beneficiadora e Industrializadora, S. A. (BEISA), en la zona industrial de Cerro Gordo, al norte de la Ciudad de México, BEISA, primera empresa de Schering de este tipo fuera de los Estados Unidos, se estableció en 1952. Aquí se extrae la diosgenina comenzando su viaje químico a través de múltiples transformaciones intermedias, que conducen a los corticosteroides.

A fin de prevenir el agotamiento del suministro de --

barbasco, el gobierno mexicano ha establecido un estudiado programa de conservación y control. Se permite a cada compañía comprar y elaborar una cantidad anual de la raíz bruta. La zona productora es controlada periódicamente para asegurarse de que la naturaleza tiene oportunidad de reproducir suficiente número de plantas adultas. La creciente demanda de esteroides complica aún más la situación. Casi todas las compañías principales productoras de esteroides están buscando activamente nuevas fuentes de vegetales de materia prima. México es la principal fuente mundial de suministro de esta planta, pero hay variedades nativas en partes de América Central y del Sur, India, Japón, China y África.

Actualmente se está desarrollando el cultivo experimental de la planta, pero son necesarios de tres a cinco años para que las raíces proporcionen suficiente diosgenina como para que puedan cosecharse. Emplear terrenos de cultivo únicamente para crear Dioscorea es antieconómico, pero es posible cultivar otras plantas, como maíz en hileras alternativas -- con la Dioscorea, produciendo así una cosecha anual, mientras maduran las raíces de la misma. Otras posibles fuentes provienen de las variedades de otras plantas que crecen salvajes en otras partes del mundo y que contienen diosgenina, en su forma natural además de la saponina denominada dioscina.

Además hay varios otros géneros de plantas, cultiva--

das o silvestres, que también pueden ser fuentes de abastecimiento de la sapogenina.

Dada la gran diversidad de fuentes de intermedios esteroides (3), tanto de origen natural como sintético, así como la habilidad técnica que se ha aplicado al desarrollo de cada una de ellas, es forzoso llegar a la conclusión de que es imposible, ya en la actualidad, que una sola de esas fuentes predomine.

Para la elaboración de cada una de estas hormonas esteroides se requiere tecnología altamente especializada, siendo esta una de las ramas más complejas de las industrias químicas.

La industria mexicana de hormonas esteroides consume cada año aproximadamente ochenta millones de pesos de productos químicos auxiliares en México. La tecnología utilizada por la industria es en su mayor parte de origen mexicano, por lo que el pago de regalías es mínimo. Esta industria requiere de instalaciones especializadas y costosas que a fines de 1973 representaban inversiones aproximadamente de quinientos veintiocho millones de pesos.

La exportación de hormonas esteroides ocupa uno de los primeros lugares dentro de los productos fabricados y ha mos

(3) Hershel L. Herzog, Diversas Fuentes de Materias Primas - Esteroides para la Síntesis Hormonal. Revista de la Sociedad Química Mexicana. (Marzo 1969).

trado siempre una tendencia ascendente, constituyendo una importantísima entrada de divisas a México. En 1955 se exportaron hormonas con valor de veintiseis millones de pesos llegando a trescientos setenta y dos millones de pesos en 1973.

Cada año se exportan productos más elaborados y una mayor variedad de ellos más de ciento nueve en la actualidad. Se han diversificado muy considerablemente, los mercados, aumentando el número de países de destino, de 16 en 1955 a 41 en 1973.

El consumo mundial de hormonas esteroides aumenta aproximadamente en un 10% cada año sin considerar nuevos usos para estos productos. Existen además nuevas posibilidades terapéuticas para ellas, entre otras su uso como: anéستesicos, compuestos para combatir el cáncer, insecticidad por control biológico, compuestos antiacné, etc.

La participación que México ha tenido en los mercados mundiales es el resultado de un esfuerzo sostenido durante todo el período de existencia en la industria.

México ocupa el primer lugar entre los proveedores de hormonas esteroides en el mundo, siendo seis empresas, que las trabajan (4): Beneficiadora e Industrializadora, S. A. de C. V.; Searle de México, Dosynth, S. A., Propquina, S. A.,

(4) México y la Píldora. Expansión. Revista de Negocios de México y Centroamérica, Volúmen I, Número 7. (Abril 1969)

Steromex y Syntex, S. A..

Existen sin embargo, otras fuentes de estos productos que se explotan actualmente y que constituyen un peligro permenente para la posición de México dentro del suministro mun dia, como lo demuestra el hecho de que en los últimos años -- han aumentado su participación del 30% al 55% del mercado -- mundial.

Los productos alternativos que compiten con los nues tros en orden de importancia son: Estigmasterol, síntesis to tal, hecogenina, dosgenina (Guatemala, China, India), ácidos biliares, colesterol, etc.

Para conservar su lugar dentro del suministro mundial de hormonas, Mexico tiene que ofrecer precios competitivos, -- calidad insuperable y disponibilidad de productos.

Para que las empresas a su vez puedan ofrecer precios relativamente bajos en el mercado, es necesario o bien que -- optimicen sus equipos para poder obtener un mayor rendimiento o que traten de evitar al máximo y gastos suplerfluos, es de cir, que si existe la posibilidad de la instalación de equi po para evitar el desperdicio de determinada substancia, entonces conviene hacer un estudio técnico económico de las -- ventajas y el ahorro que representaría la instalación de di cho equipo.

C A P I T U L O I I .

FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA TRANSFERENCIA SIMULTANEA DE MASA
Y CALOR.

En los procesos de transferencia simultánea de masa y calor, la dirección de la transferencia se controla por las condiciones de equilibrio hacia las cuales tiende la transferencia. Las condiciones de la mezcla de gas-vapor generalmente se obtienen graficando a una determinada presión, las concentraciones de la fase gaseosa saturada contra la temperatura. Para el caso especial en que puedan considerarse como soluciones ideales las dos fases podemos emplear las leyes de Raoult y Dalton, que dicen:

$$\bar{P}_a = P y_s = P a^{\circ} X \quad (2.1)$$

En este caso $X = 1$, pues la fase líquida consta sólo de un componente, Así:

$$y_s = \frac{\bar{P}_a}{P} \quad (2.2)$$

La humedad molar se define como la cantidad de moles de vapor contenidas en un gas.

$$Y = \frac{y}{(1 - y)} \quad (2.3)$$

La humedad será entonces el contenido en unidades de masa de vapor presente en un gas.

$$Y' = Y_s \frac{M_a}{M_b} \quad (2.4)$$

Podemos también graficar líneas de por ciento de saturación constante, definiéndose por el ciento de saturación o por ciento de humedad como 100 veces la relación de pesos del componente condensable al componente presente no condensable, dividida por la relación del condensable al no condensable en la saturación. Por la anterior definición tenemos:

$$\% \text{ saturación} = \frac{100 Y \cdot \frac{M_a}{M_b}}{Y_s \frac{M_a}{M_b}} = 100 \frac{Y}{Y_s} \quad (2.5)$$

Debe notarse que el por ciento de saturación puede definirse en términos de relaciones molares como también en términos de relaciones de masa. En el diagrama de concentración - temperatura se encuentran las líneas de saturación constante colocadas de la misma manera que la curva de saturación pero proporcionalmente a concentraciones menores.

Otra expresión de concentración es la saturación relativa o humedad relativa; definida como la presión parcial del componente condensable presente dividida por la presión del componente condensable en la saturación.

$$\% \text{ saturación relativa} = \frac{100 \bar{P}_a}{(P_a)_s} = \frac{100 y}{Y_s} \quad (2.5)$$

La saturación relativa es una medida muy usada en los reportes climatológicos. Como se puede notar en las ecuaciones anteriores la saturación relativa es una relación de fracciones, mientras que el porcentaje de humedad es una relación de relaciones molares. Como:

$$Y = \frac{y}{(1 - y)} \qquad Y_s = \frac{y_s}{(1 - y_s)}$$

tendremos:

$$\% \text{ saturación} = \frac{\frac{100 y}{1 - y}}{\frac{y_s}{1 - y_s}} = \frac{100 y}{Y_s} : \frac{(1 - y_s)}{(1 - y)} \quad (2.6)$$

o sea que el porcentaje de saturación es igual al porcentaje de humedad relativa multiplicando por la relación

$$(1 - y_s) / (1 - y) \quad (2.7)$$

Como $y_s < y$, el porcentaje de humedad de saturación será siempre menor o igual que el porcentaje de humedad relativa a presiones de 1 atm y temperaturas entre 50 y 130°F, las concentraciones son muy bajas siendo y y Y por lo tanto casi igual al porcentaje de humedad de saturación y de humedad relativa.

En muchos sistemas industriales la fase gaseosa está diluída, la presión por consiguiente es baja y se sigue la ley de Raoult. Así pues tendremos:

$$\% \text{ saturación} = \frac{100Y}{Y_s} = \frac{\frac{\bar{P}_a}{P_t - \bar{P}_a}}{\frac{P_t - P^{\circ}a}{P_t - P^{\circ}a}} \times 100 =$$

$$= \frac{\bar{P}_a (P_t - P^{\circ}a)}{P^{\circ}a (P_t - \bar{P}_a)} \times 100 \quad (2.8)$$

$$\% \text{ humedad relativa de saturación} = \frac{100y}{Y_s} = \frac{100 \bar{P}_a}{P^{\circ}a} \quad (2.9)$$

En cálculos de humidificación se hace necesario el uso de los conceptos de volúmen húmedo, definido como el volúmen de 1 lb de aire seco más su contenido de vapor. Similarmente el volúmen molar húmedo es el volúmen de 1 lb mol de aire seco más su contenido de vapor.

$$V_H = (1 + Y) (359) \left(\frac{T}{492P} \right) \quad (2.10)$$

Esta ecuación se aplica a aquellas condiciones donde la ley del gas ideal es válida.

Similarmente el calor molar húmedo se define como la capacidad calorífica de 1 lb mol de aire seco con su vapor asociado. Es decir:

$$C_s = C_b + Y C_a \quad (2.11)$$

La entalpía de la mezcla vapor - gas generalmente no recibe nombre especial apareciendo como:

$$H = H_b + Y H_a \quad (2.12)$$

donde H es la entalpía de 1 lb mol de aire seco más su contenido de vapor. Estas entalpias se computan relativamente a una condición base en la cual $H = 0$. Esta condición puede ser diferente en los componentes considerados, pero considerándolos a la misma temperatura y presión, es necesario hacer presente la diferencia. Para los sistemas aire - agua generalmente la entalpía igual a cero se presenta en el punto triple; la entalpía base es entonces tomada de 32°F y; atmósfera de presión.

Así pues H del aire húmedo puede relacionarse con los calores específicos y latentes por:

$$H = C_b (T - T_o) + Y [\lambda_o + C_a (T - T_o)] \quad (2.13)$$

ignorándose el efecto de la presión en la entalpía del líquido. Aquí se suponen C_a y C_b constantes. Si esto no es cierto los calores específicos deberán integrarse entre valores T y T_o .

Otros términos usados para describir las mezclas de vapor - gas son: el punto de rocío, temperatura de bulbo húmedo y temperatura de saturación adiabática.

Existe una diferencia importante entre las temperaturas de bulbo húmedo y de rocío. Las dos se usan en los cálculos de difusión.

Temperatura de Rocío.- El punto de rocío es aquel en el cual empieza la condensación al cambiar las condiciones de temperatura o presión en una mezcla de composición fija.

Temperatura de Bulbo Húmedo.- La temperatura de bulbo húmedo se acostumbra para definir muchas veces la humedad del aire. Así pues este concepto es muy valioso, significando -- también la mínima temperatura a la que puede obtenerse el agua por humidificación adiabática. Refiriéndose a la Figura (2.1) que consiste en un termómetro rodeado por una mecha su mergida en agua a la misma temperatura que el aire ambiente.

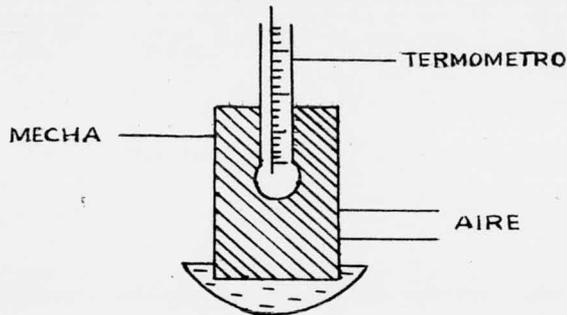


FIGURA (2.1) .

TERMOMETRO DE BULBO HUMEDO.

La mecha se mantiene siempre húmeda. Un segundo termómetro se suspende en el aire ambiente para indicar la temperatura de bulbo seco.

Si por la mecha se circula aire no saturado a cualquier

temperatura de bulbo seco. Debido a que la mecha está húmeda y el aire no saturado, la presión parcial del vapor de agua fuera de la mecha es mayor que la del vapor de agua en el ai re que circula, evaporándose agua de la mecha al aire. Pero la evaporación del agua de la mecha requiere mucho BTU de ca lor latente que provienen, al principio cuando el aire circu la por la mecha, de ella misma bajando su temperatura por de bajo de su temperatura inicial. Si la temperatura inicial de la mecha fue la misma que la de bulbo seco, cualquier descenso en la temperatura de la mecha establecerá una diferencia de temperatura entre la temperatura de bulbo seco y la menor temperatura de la mecha, originando un flujo de calor sensible del aire. A medida que circula el aire se registran de-- presiones adicionales en la temperatura de la mecha, hasta - que se alcanza un punto en el que la temperatura entre el - bulbo seco y la mecha ocasiona un flujo hacia la mecha justa mente suficiente para contrabalancear la pérdida de calor de la mecha por evaporación.

Se establece en estas condiciones un equilibrio donde la evaporación es un pie cúbico o libra de aire es contrarrestada por el calor sensible removido de un pie cúbico o libra de aire. Esta temperatura recibe el nombre de temperatura de bulbo húmedo, de acuerdo con la cantidad de saturación antes de entrar en contraste con la mecha, puesto que el grado de-

saturación afecta la cantidad de vapor de agua que puede ser evaporada al aire y consecuentemente la cantidad de calor -- que puede ser removido de él.

Temperatura de Saturación adiabática.- Es la temperatura que alcanzaría la mezcla de vapor si se saturara través de un proceso adiabático. Esta temperatura es particularmente útil, pues muchos procesos se supone ocurren adiabáticamente.

Carta Psicrométrica .- La carta de humedad es una representación gráfica de los conceptos descritos anteriormente que es aplicable a los componentes condensables y no condensables simples; a una presión total fija.

De la carta podemos obtener información de humedad, - por ciento de saturación o saturación relativa, volúmen húmedo, entalpia total, por cantidades convenientemente medidas- de temperaturas de bulbo seco y húmedo. Se incluye la carta- de humedad a la presión de la ciudad de México, que es la que se utilizó en esta tesis. Figura (2.2).

Para construir esta carta en el caso de aire-agua tendremos:

$$M_a = 18.$$

$$M_b = 29.2$$

Tenemos
$$Y_s = \frac{^{\circ}\text{Pa}}{P_t - ^{\circ}\text{Pa}}$$

Para cada temperatura existe una $^{\circ}\text{Pa}$, entonces sacamos Y_s a diferentes temperaturas. El valor máximo de Y_s será cuando $^{\circ}\text{Pa} = 586$ ó bien $^{\circ}\text{Pa} = P_t$, ya que nos daría un valor de infinito, este punto se encuentra al alcanzar la temperatura de ebullición del líquido. El por ciento de humedad será:

$$\% \text{ humedad} = \frac{Y}{Y_s} \times 100$$

el cual se encuentra graficado en la carta. Para sacar las demás curvas que representan los diferentes porcentos de saturación simplemente se divide la curva de 100% de saturación entre los diferentes porcentos que se necesiten obtener.

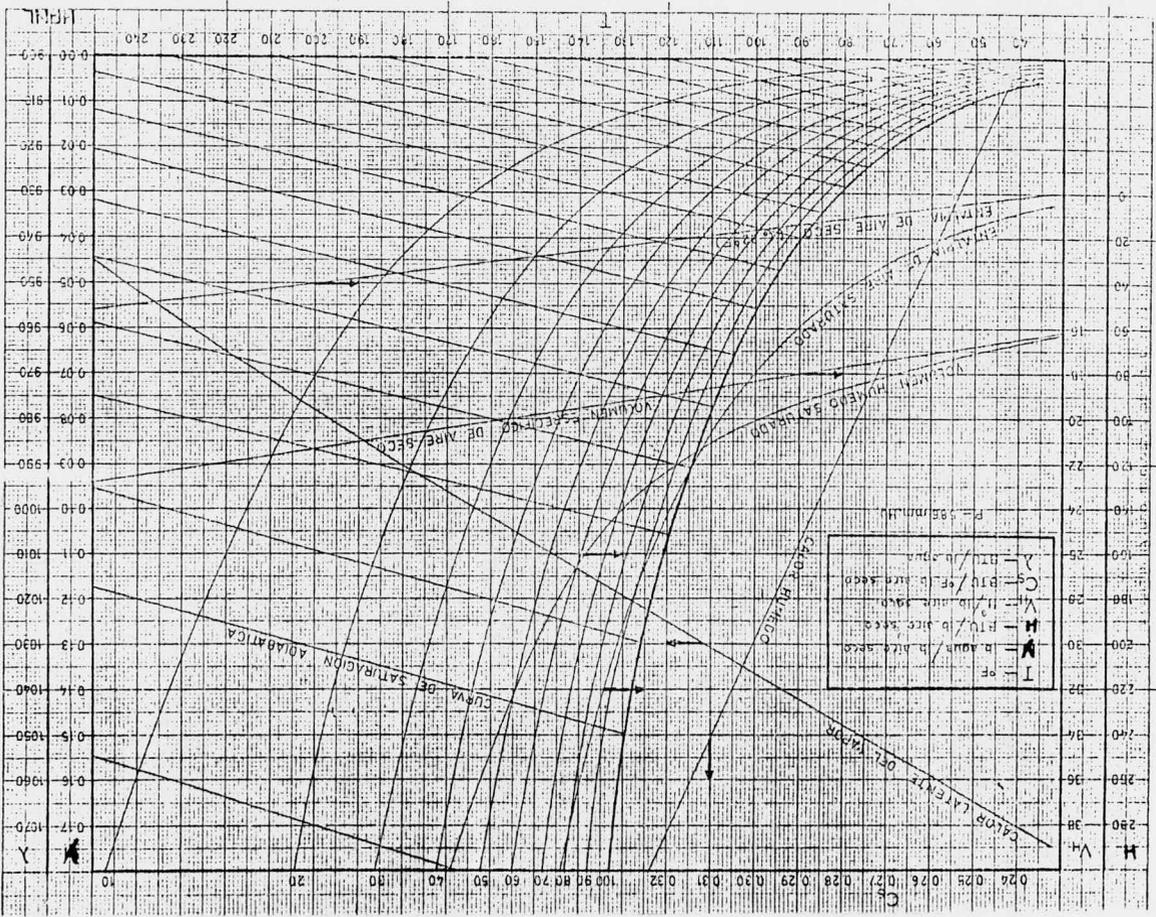
El volúmen húmedo dado en $\frac{\text{ft}^3 \text{ de mezcla}}{\text{lb aire seco}}$ será:

$$V_H = \text{ft}^3 \text{ aire} + \text{ft}^3 \text{ de vapor de agua}$$

$$V_H = \left(\frac{1}{M \text{ aire}} + \frac{Y'}{M \text{ agua}} \right) 359 \left(\frac{t_G + 460}{492} \right) \left(\frac{1}{P_t} \right) \dots \quad (2.14)$$

escogiendo $Y' = 0$ y $Y' = 100$ % de saturación y variando las temperaturas se obtienen líneas de volúmen de aire seco y volúmen de aire completamente saturado contra temperatura respectivamente.

La ecuación para encontrar valores intermedios entre-



estos dos puntos es:

$$V_H = V \text{ aire seco} \Big|_{t_G} + (V \text{ aire sat} \Big|_{t_G} - V \text{ aire seco} \Big|_{t_G}) Y \% \quad (2.15)$$

La línea de calor húmedo la obtenemos como sigue:

el calor húmedo C_s se define como la capacidad calorífica para subir 1 °F una libra de aire seco incluyendo el agua que contenga dada en $\frac{\text{Btu}}{\text{lb}/^\circ\text{F}}$

$$C_s = C_p \text{ aire} + Y' C_{\text{vapor de agua}} = 0.24 + 0.46 Y' \dots \quad (2.16)$$

Los valores de entalpia se pueden obtener como sigue:

$$H' = C_s (t_G - T_o) + \lambda_o Y' \quad (2.17)$$

considerando la humedad como cero.

Para obtener la entalpia a un punto a un punto intermedio calculamos la entalpia de aire seco a la temperatura que se tiene, así:

$$H' = H' \text{aire seco} \Big|_{t_G} + \% Y (H' \text{sat} \Big|_{t_G} - H' \text{aire seco} \Big|_{t_G}) \quad (2.18)$$

OPERACIONES DE CONTACTO AIRE - AGUA

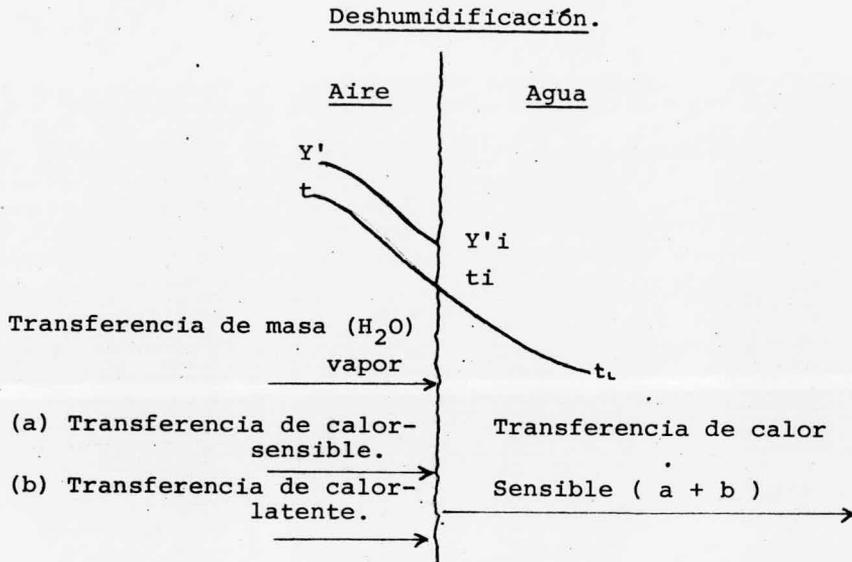


Figura (2-3)

REPRESENTACION DE LA OPERACION DE DESHUMIDIFICACION EN CONTACTO AIRE - AGUA.

En un proceso de deshumidificación una mezcla de vapor - gas caliente se pone en contacto con agua fría. Se condensa el vapor de la fase gaseosa; enfrándose ésta y calentándose el líquido. Tanto el calor sensible y el calor latente se transfieren a la fase líquida. En la convención normal, se escoge la fase gaseosa como el sistema y las velocidades de transferencia de calor y masa son positivas cuando la trans-

ferencia se lleva a cabo hacia la fase gaseosa.

La convención de signos es equivalente a la medición de distancia en la dirección de la fase gaseosa. Así entonces las cantidades de transferencia de masa y calor para esta situación física serán negativas.

La figura (2-3) nos representa un punto en equipo = de deshumidificación Figura (2-4).

$Y'_2 < Y'_1$ lo cual significa que conforme avanza el gas hacia la parte superior del equipo, pierde humedad, enfriándose.

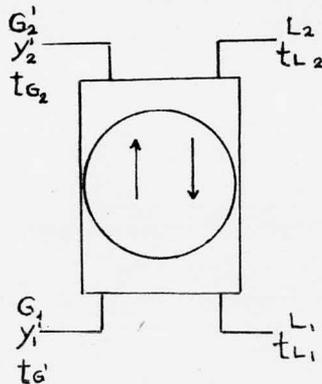


Figura (2-4).

Humidificación (Enfriamiento de Agua).

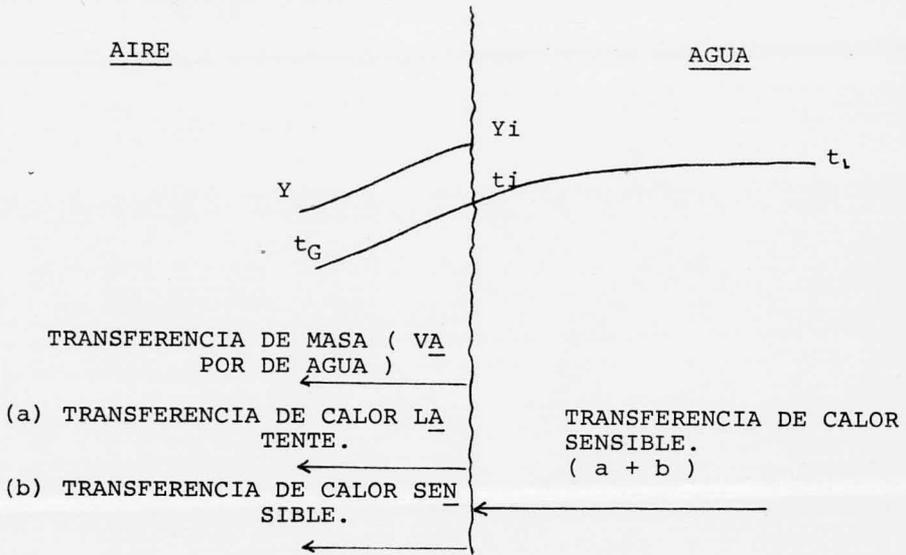


Figura (2-5)

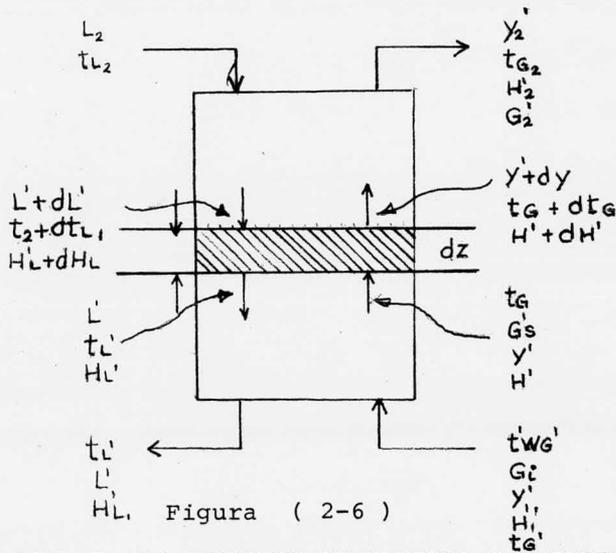
REPRESENTACION DE LA HUMIDIFICACION EN CONTACTO AIRE - AGUA.

En el proceso de enfriamiento de agua Figura (2-5), el agua caliente se pone en contacto con una mezcla fría de gas-vapor. Se transfiere masa y calor hacia la fase gaseosa. Como resultado los signos de la fuerza directora y las velocidades de transferencia son positivos de acuerdo a la convención mencionada anteriormente.

Tenemos casos en los que la transferencia de calor sensible y latente se efectúa en direcciones opuestas. Esto generalmente ocurre en la parte inferior de las torres de enfriamiento donde el agua se ha enfriado por debajo de la tem

peratura del gas. Este sobreenfriamiento se hace posible, -- pues la transferencia de calor latente sobrepasa la de calor sensible. El líquido no puede enfriarse por debajo de la temperatura de bulbo húmedo del gas como se mostró anteriormente.

Puesto que en estas operaciones, las velocidades y -- cantidades de ambas transferencias de calor y masa son signi-- ficativas, los balances de entalpía y las ecuaciones de velo-- cidad de transferencia deberán escribirse paralelamente a los balances de material y ecuaciones de velocidad de transferen-- cia de masa. A continuación se presenta el desarrollo Figura (2-6) para la obtención de las ecuaciones de diseño para -- un equipo de contacto gas-líquido para enfriamiento de agua.



REPRESENTACION DE LOS BALANCES DE MATERIA Y ENERGIA EN UNA -- TORRE EMPACADA.

Planteando primero el balance de material en base al agua tenemos:

$$\text{Aire que entra} \left\{ \begin{array}{l} \text{Gas seco (Gs)} \\ \text{Vapor que proporciona la humedad (Gw)} \end{array} \right.$$

donde Gw aumenta en el trayecto de la torre, Gs permanece -- constante.

$$L'_2 + G'w_1 = L'_1 + G'w_2 \quad (\text{Ec. 2-19})$$

$$Gw = GsY' \quad (\text{Ec. 2-20})$$

$$L'_2 + GsY'_1 = L'_1 + GsY'_2 \quad (\text{Ec. 2-21})$$

$$L'_2 - L'_1 = Gs (Y'_2 - Y'_1) \quad (\text{Ec. 2-22})$$

Planteando el balance de calor ó de entalpias tenemos:

$$L'_2 H'_{L_2} + G'_1 H'_{L_1} + Q = L'_1 H'_{L_1} + G'_2 H'_{G_2} \quad (\text{Ec.2-23})$$

Considerando $Q = 0$, es decir una operación adiabática y considerando también el equipo totalmente empacado, trabajando en forma diferencial tendremos que la altura total del empaque varía de 0 a Z. Viendo lo que ocurre respecto a la transferencia de calor y masa entre las a través de una diferencial de superficie o superficie interfacial tenemos:

Balance de material en la diferencial.

$$dL = Gs' dY' \quad (\text{Ec. 2-24})$$

$$dS = a dZ \quad (\text{Ec. 2-25})$$

La transferencia de masa es la que motiva a que parte del líquido se pierda pasando al gas. La mayor parte de la energía está dada por la diferencia de entalpias que existe entre el conjunto de gas y la interfase.

Balance de entalpia:

$$d(L' H'_L) = G_s' (dH') \quad (\text{Ec. 2-26})$$

Haciendo la siguiente consideración:

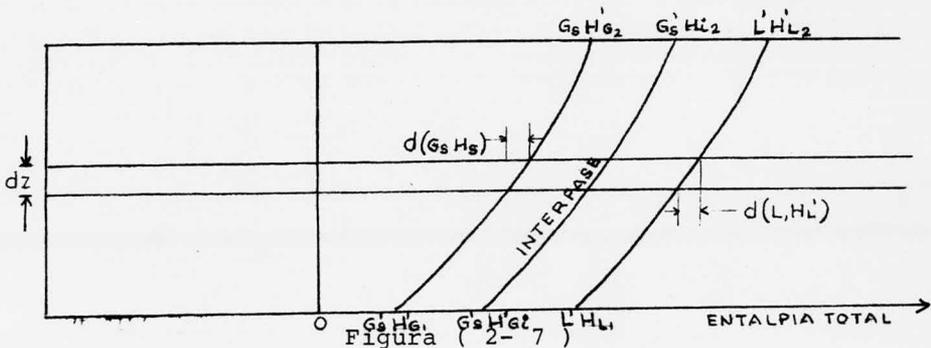
En un equipo grande las pérdidas que se tienen por el cambio de concentración del gas son de .5 - 1 %, perdiéndose más agua por arrastre y por la purga que se le debe hacer para controlar el pH, el gasto del líquido casi no varía, por lo que consideramos:

$$L'_2 = L'_1 = L \quad (\text{Ec. 2-27})$$

lo que simplifica la (Ec. 2-26)

$$L'dH'_L = G_s' dH' \quad (\text{Ec. 2-28})$$

$$L' Ca_L dt_L = G's dH' \quad (\text{Ec. 2-29})$$



REPRESENTACION A LO LARGO DEL EQUIPO DE LA ENTALPIA TOTAL.

El contenido de entalpia del líquido es mayor que el de la interfase y mayor que el del gas, siendo la transferencia de entalpias en sentido de mayor a menor. Figura (2-7)

La entalpia de una mezcla gas-vapor es igual al calor específico del vapor multiplicado por la diferencia de temperatura entre la temperatura del gas y la temperatura de referencia sumado al calor latente de vaporización multiplicado por la humedad.

$$G_s' dH' = G_s' d [C_s (t_g - t_o) + Y' \lambda_o] \quad (\text{Ec. 2-30})$$

El cambio de entalpia se realiza en dos pasos, desde la temperatura de referencia hasta la temperatura de cambio de estado (calor sensible), y de esta última hasta terminar el cambio de fase (calor latente).

$$G_s' dH' = G_s' C_s dt_g + G_s' \lambda_o dY' \quad (\text{Ec. 2-31})$$

donde ($G_s' C_s dt_g$) es el calor sensible y ($G_s' \lambda_o dY'$) es el calor latente.

Estas dos partes de la ecuación anterior pueden tener igual o diferente signo dependiendo de en que parte del equipo se está trabajando.

Analizando esto a lo largo del equipo (figura 2-8), tenemos:

La parte de calor sensible. El cambio se motiva por -

una diferencia de temperaturas a lo largo del equipo.

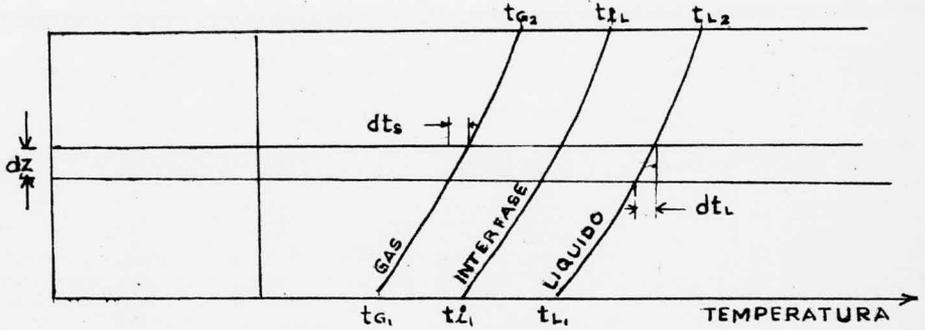


Figura (2-8)

REPRESENTACION DE LA TEMPERATURA A LO LARGO DEL EQUIPO.

La parte de calor latente (en donde se vaporiza el líquido) trae como resultado un cambio de concentración (transferencia de masa):

La transferencia de calor sensible para la película del líquido da:

$$L' Ca_L dt_L = h_L a (t_L - t_i) dz \quad (\text{Ec. 2-32})$$

para la película de gas:

$$G's Cs dt_G = h_G a (t_i - t_G) dz \quad (\text{Ec. 2-33})$$

la transferencia de masa aunada a la transferencia de calor-latente nos da:

$$G's dY' = k_Y a (Y'_i - Y') dz \quad (\text{Ec. 2-34})$$

Para el caso específico de un equipo de enfriamiento-

agua en el cual se pone en contacto un líquido caliente con un gas frío, enfriándose este último debido a una pérdida de calor sensible y a una evaporación, calentándose el gas, el cual se va a humidificar tendremos: ya que la diferencia de humedades es la fuerza directora para transferencia de calor y masa se hará su análisis de la Ec. (2-29).

$$L' Ca_L \int_{t_{L1}}^{t_{L2}} dt_L = G's' \int_{H'_1}^{H'_2} dH' \quad (\text{Ec. 2-35})$$

$$L' Ca_L (t_{L2} - t_{L1}) = G's' (H'_2 - H'_1) \quad (\text{Ec. 2-36})$$

Pudiéndose representar gráficamente como se indica en la figura (2-9)'

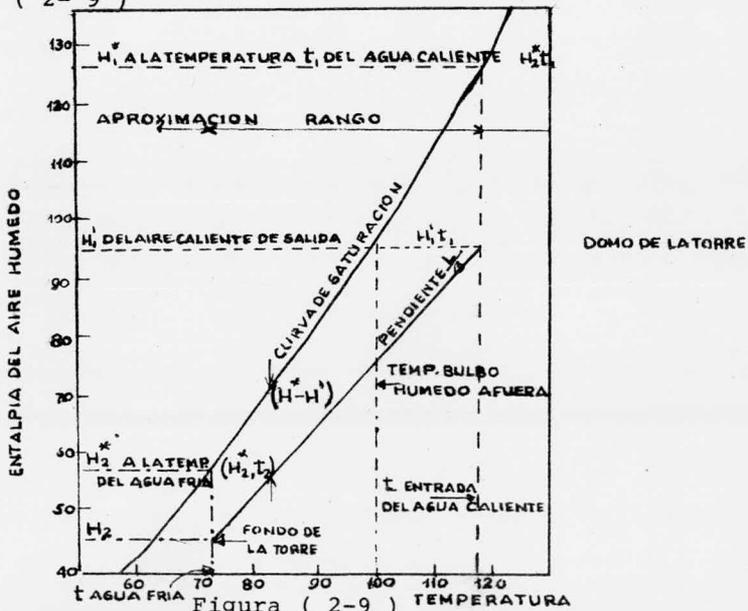


Figura (2-9) REPRESENTACION DE LA GRAFICA DE LA (EC. 2-36).

La curva de equilibrio (la que prerepresenta la saturación), representa también como su nombre lo indica las condiciones de equilibrio, trazada en términos de entalpia de interfase contra temperatura de interfase, o bien como entalpia del gas saturado contra la temperatura del líquido.

En una mezcla de este tipo la interfase está completamente saturada. Los extremos de la línea recta representan los extremos del equipo. En el caso en que la variación entre L_1 y L_2 hubiera sido grande no se podría tomar como constante desde la Ec. (2-26) siendo la línea de operación de una curva.

En la ecuación (2-31) los dos términos los describimos a partir de las ecuaciones (ec. 2-31) y (ec. 2-34)

$$G_s' dH' = h_g a (t_i - t_g) dZ + \lambda_o k_Y (Y_i' - Y') dZ H_Z \quad (\text{Ec. 2-37})$$

haciendo para esta ecuación la misma consideración del factor de Lewis, es decir:

$$r = \frac{h_g a}{k_Y C_s a} \quad (\text{Ec. 2-37'})$$

Suponiendo que a , el área por unidad de volúmen de la torre es la misma para transferencia de calor, como para --- transferencia de masa, siendo cierto sólo en los casos en -- que la velocidad del líquido sea lo suficientemente alta pa-

ra mantener el empaque de la torre completamente húmeda. Otra suposición es que $r = 1$, lo cual es cierto para sistemas aire-agua en condiciones normales. Sustituyo la (Ec. 2-37')- y obtengo:

$$G_s' dH' = k_Y a \left[(C_s r t_i + \lambda_o Y_i) - (C_s r t_g + \lambda_o Y) \right] dz \quad (\text{Ec. 2-38})$$

$$G_s' dH' = k_Y a \left[\bar{H}_i - H' \right] dz \quad (\text{Ec. 2-39})$$

Combinando las ecuaciones (2-29), (2-32) y (2-29) tenemos:

$$G'_s dH = k_Y a (H'_i - H') dz = h_L a (t_L - t_i) dz \quad (\text{Ec. 2-40})$$

En la figura (2-10) notamos como se pueden obtener las condiciones de equilibrio de interfase para determinadas temperaturas.

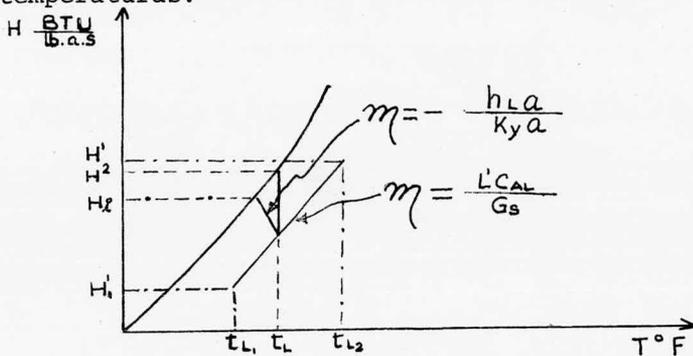


Figura 2-10

OBTENCION DE CONDICIONES DE EQUILIBRIO E INTERFASE.

Podemos representar la igualdad de la Ec. (2-40) por

una línea recta en la cual:

$$\frac{(H'_i - H')}{(t_L - t_i)} = \frac{k_L a}{k_Y a} \quad (\text{Ec. 2-41})$$

de la ecuación 2-40 podríamos calcular:

$$G's \int_{H'_1}^{H'_2} \frac{dH'}{H'_i - H'} = k_Y a \int_0^Z dZ \quad (\text{Ec. 2-42})$$

la solución de una ecuación de este tipo es fácil resolviéndose:

$$\int_{H'_1}^{H'_2} \frac{dH}{(H'_i - H')} = \frac{k_Y a}{G's} \int_0^Z dZ \quad (\text{Ec. 2-42})$$

En el caso en el que no se conozca la pendiente, o sea

$\frac{h_L a}{k_Y a}$ y por lo tanto no se puedan conocer las condiciones de

interfase podemos emplear las condiciones de equilibrio. Al

trabajar con la fuerza directora total $(H^* - H')$ usamos el

coeficiente total de transferencia de masa, pudiendo trans-

formar la ecuación (2 - 42) a:

$$\int_{H'_1}^{H'_2} \frac{dH'}{(H^* - H')} = \frac{K_Y a}{G's} \int_0^Z dZ = \frac{K_Y a}{G's} Z \quad (\text{Ec. 2-43})$$

esto nos da la ventaja de poder leer directamente los valores de H^* y H' a una temperatura dada considerando la pendiente - que une la línea de operación con la de equilibrio como ∞ , - esto traerá como consiguiente una pequeña inexactitud en el cálculo.

Para llevar a cabo la integral de la ecuación, lo hacemos gráficamente, por el método de Simpson o por integración sumérica siendo entonces:

$$\frac{H_2' - H_1'}{(H^* - H')_{\text{prom.}}} = \text{NTOG} \quad (\text{Ec. 2-44})$$

Sabemos que:

$$Z_{\text{total}} = \text{NTOG} \times \text{HTOG} \quad (\text{Ec. 2-45})$$

Y

$$\text{HTOG} = \frac{G's}{K_y a} \quad (\text{Ec. 2-46})$$

Es necesario aplicar unas restricciones al uso de estas ecuaciones.

1) Se considera que en el tramo de las condiciones de entrada y salida, la línea de equilibrio se comporta como una línea recta resultando por consiguiente un número menor - de NTOG que el realmente se necesita.

2) Como se considera que el valor de la línea de unión es ∞ , esto implica que o bien $h_{L,a} = \infty$ y es por lo tanto, la resistencia a la transferencia de calor sensible en -

la película del líquido igual a cero, o bien que el valor de K_{ya} es tan pequeño, que indica que no existe transferencia de masa:

El uso de las condiciones de equilibrio nos arroja un 95% de exactitud con respecto al valor verdadero. La diferencia al 100% queda cubierta en el diseño a considerar la eficiencia del equipo y los factores de seguridad.

En el caso de usar condiciones de interfase tendremos:

$$NTG = \int_{H_1'}^{H_2'} \frac{dH'}{(H_1' - H')} \quad (\text{Ec. 2-47})$$

$$HTG = \frac{G_s'}{K_{ya}} \quad (\text{Ec. 2-48})$$

$$Z = NTG \cdot HTG \quad (\text{Ec. 2-49})$$

El coeficiente de transferencia de masa es función de todo lo que también afecta al Re (v , ρ , μ) así pues los valores de coeficientes los podemos encontrar graficados en función del tipo de empaque y del gasto que se maneje. El cálculo mediante las condiciones de interfase nos arroja una exactitud del 100% en cuanto al valor en las unidades de transferencia.

Se supone que al salir el aire de la torre, éste sale completamente saturado, pero para conocer el comportamiento-

del gas a lo largo del equipo y saber si se forma neblina dentro de la torre, es decir que el gas se ha saturado dentro de la misma llevándose ya no vapor, sino gotas de agua, existe un método gráfico llamado Mikley, en el cual se fijan las condiciones de entrada del gas (t, H) y con el valor de --

$\frac{h_{La}}{K_{Ya}}$ se determinan las condiciones de interfase, se recomienda un incremento de 2 - 3°F o bien el punto donde se vuelven a separar las dos líneas.

Dividiendo la ecuación (2-33) y (2-39), se tiene:

$$\frac{G_s' C_s dt_g}{G_s' dH'} = \frac{h_g a (t_i - t_g) dz}{k_Y a (H_i' - H') dz} \quad (\text{Ec. 2-50})$$

$$\frac{dt_g}{dH'} = \frac{h_g a}{k_Y a C_s} \cdot \frac{(t_i - t_g)}{(H_i' - H')} \quad (\text{Ec. 2-51})$$

$$C_s = \frac{h_g a}{k_Y a} \quad (\text{Ec. 2-52})$$

Todas las ecuaciones son aplicables a la deshumidificación y al enfriamiento de agua. En el primer caso se tiene una mezcla gas - vapor caliente en contacto con un líquido frío. La temperatura promedio del gas es mayor que la de la interfase, la entalpia promedio del gas es mayor que la de la interfase por lo que la transferencia de masa se lleva a cabo del conjunto del gas a la interfase, perdiendo el gas contenido de humedad. Las ecuaciones son iguales en todos los casos, variando únicamente la fuerza directora, es decir:

$$\text{NTG} = \int_{H_1'}^{H_2'} \frac{dH'}{H_1' - H'} \quad (\text{Ec. 2-53})$$

$$\text{NTOG} = \int_{H_1'}^{H_2'} \frac{dH'}{H' - H^*} \quad (\text{Ec. 2-54})$$

C A P I T U L O I I I

ANALISIS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE TORRES DE ENFRIAMIENTO Y
FACTORES A CONSIDERAR EN UN DISEÑO.

El uso más extenso en la transferencia de calor difusional en la actualidad se encuentra en la torre de enfriamiento, torre de rocío y cámara de rocío de aire acondicionado (1). De acuerdo a estudios realizados se ha llegado a la conclusión de que los sistemas más económicos para enfriar el agua son aquellos en que ésta última se pone en contacto con aire. El uso de las torres de enfriamiento se ha incrementado de unos 20 años a la fecha debido a que en muchas plantas industriales el agua grúa cruda es muy escasa y no se permite su uso ilimitado como medio de enfriamiento necesitando las nuevas plantas, desarrollar un uso continuo de las cantidades limitadas que puedan obtener. Algunos de los procesos que han sido utilizados son:

Tanques de Espreado.- Figura (3-1), aquí el líquido es pulverizado en una niebla dentro de la corriente de aire.

(1) Donald Q. Kern. Procesos de Transferencia del Calor. Edit. Continental. VIII Edición (1974).

La velocidad del gas se mantiene baja para que el tiempo de contacto aumente (2). Generalmente estas unidades están restringidas a operaciones en pequeña escala.

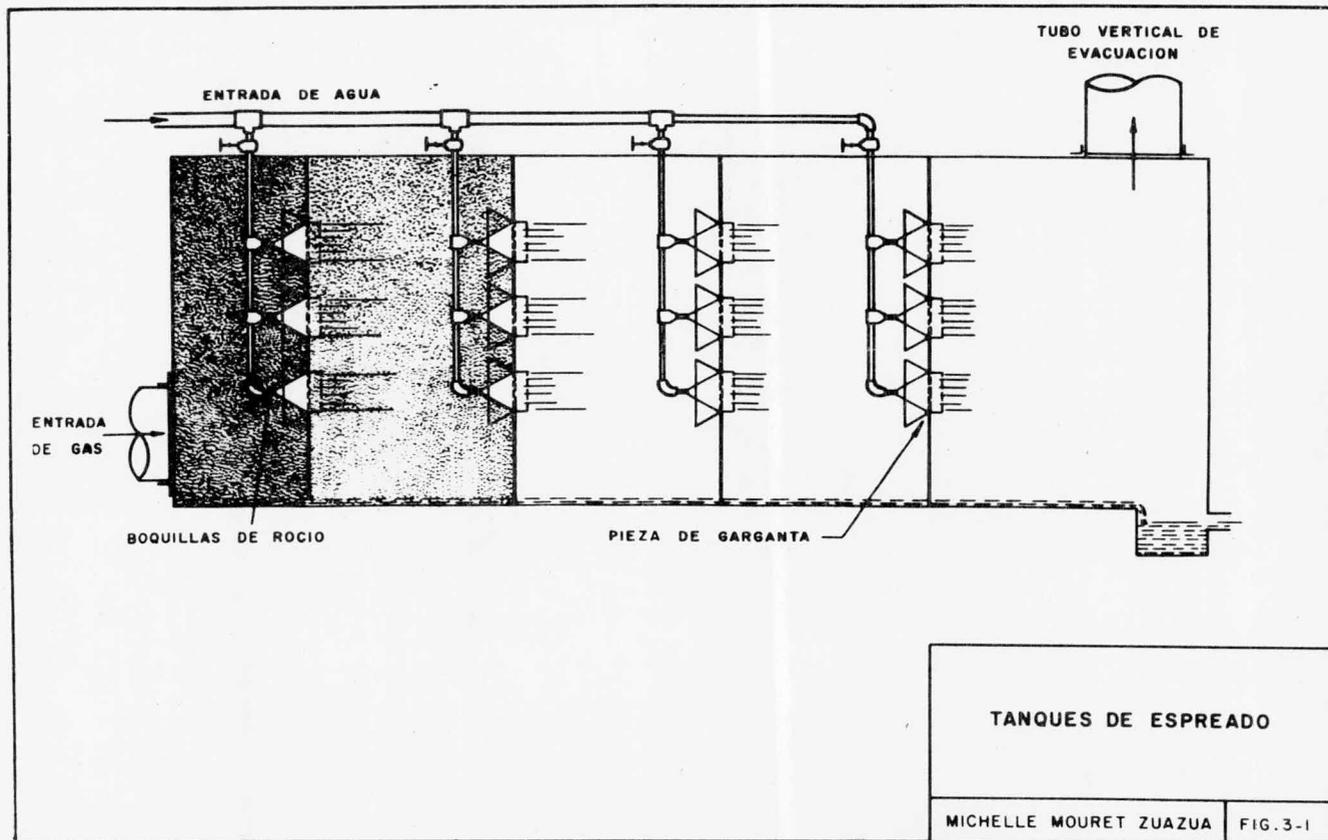
Tanques de Almacenamiento.- Estos se usan generalmente donde tenemos disponible una gran área de terreno, o bien donde la velocidad de recirculación del agua es lenta, generalmente se acompaña a el agua de enfriamiento con un espreado de la misma en fuentes sobre una poza poco profunda.

Los efectos de enfriamiento son muy bajos ya que sólo se pulveriza el agua una sola vez y al mismo tiempo las pérdidas de esta por arrastre del viento son mayores que en otros equipos.

Así pues podemos ver que por ejemplo mientras que una torre de tiro inducido se requiere solamente 1 ft^2 de área para enfriar una determinada cantidad de agua el lago de enfriamiento necesitará cerca de 1 000 veces más de esta área para producir el mismo efecto.

Torres de Circulación Natural.- Generalmente se usan en Europa. La torre atmosférica (Figura 3-2) aprovecha las corrientes atmosféricas del aire que soplan horizontalmente. El aire penetra a través de los rompevientos en una sola di-

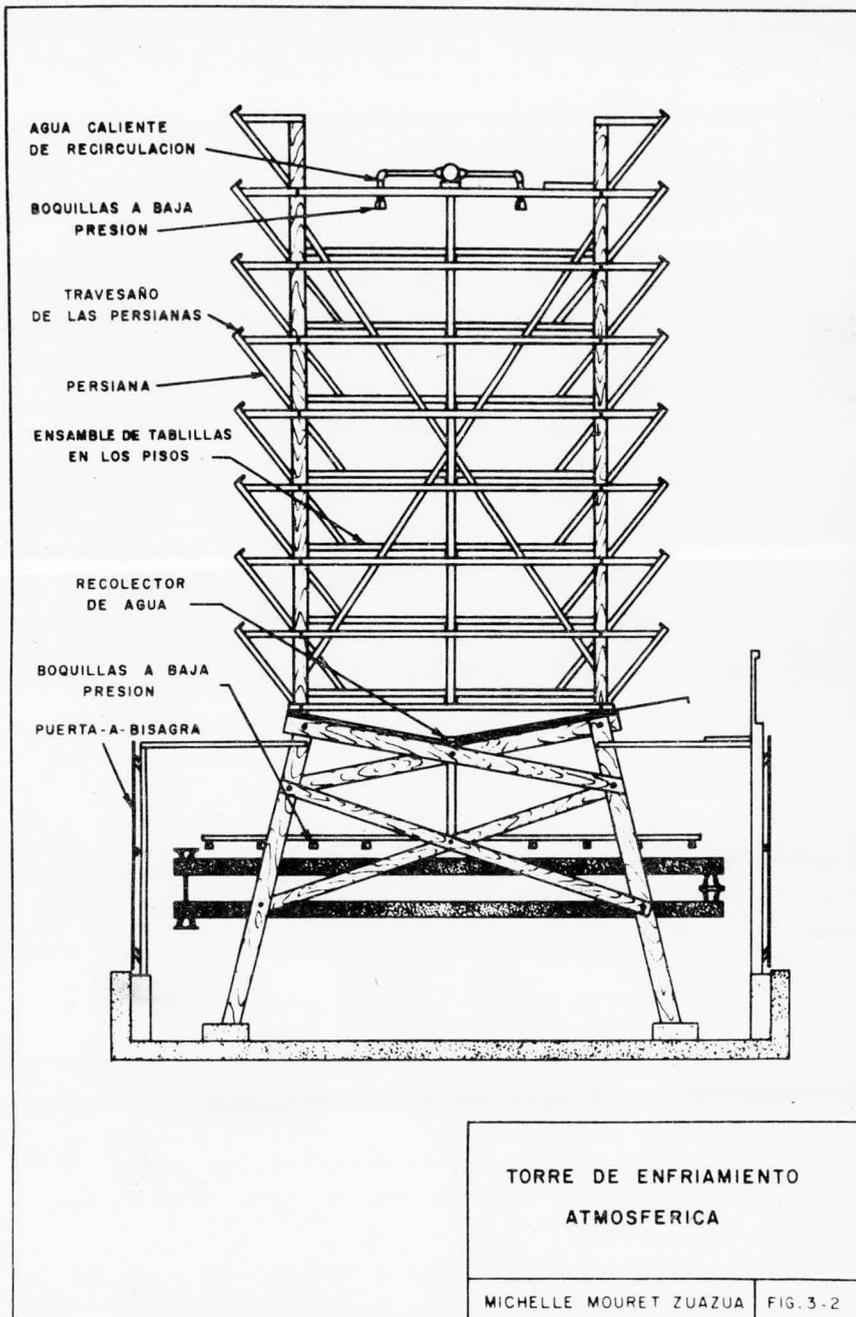
(2) L.A. Wenzel, L. B. Andersen. Principles of Unit Operations. A.S. Faust, C.W. Clump. (1960).

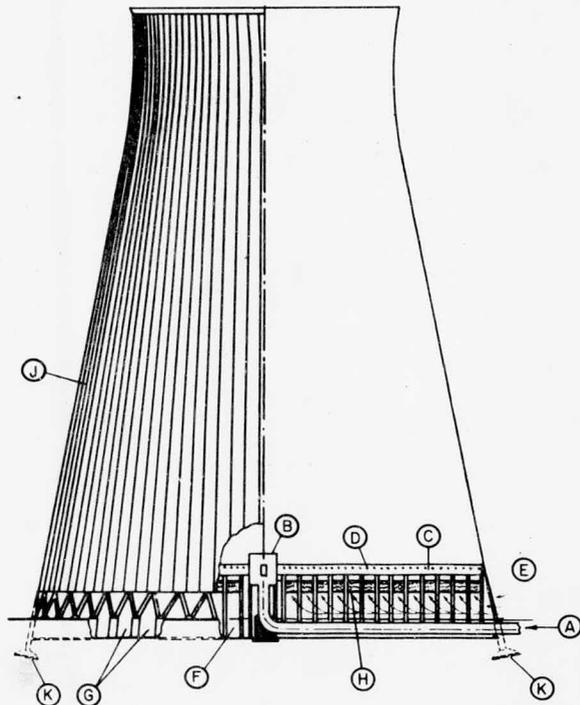


rección, cambiando con la estación del año y las condiciones atmosféricas. Estas torres deben situarse en áreas abiertas para recibir la mayor cantidad posible de aire. Esta torre pudiera ser la más económica en lugares donde la velocidad promedio es de 4.5 a 6.5 millas/hr. Puesto que las corrientes penetran a todo lo ancho de la torre, estas se hacen más angostas que otros tipos y muy largas para tener una capacidad igual. En éste caso las pérdidas por arrastre son mayores, ya que se presentan a todo lo largo de la torre. Este tipo opera a flujo cruzado y es incapaz de producir agua a temperaturas cercanas a la T de bulbo húmedo. Tendremos así que estas torres tienen un alto costo inicial debido a su tamaño tan alto, pero a su vez disminuye el costo de operación pues no interviene el costo de la fuerza para el abanico.

Las torres de tiro natural (Figura 3-3) operan de manera semejante que las chimeneas de hornos (3). El aire se calienta en la torre por el agua caliente con la que entra en contacto, bajando su densidad. Se origina entonces debido a la diferencia entre las densidades del aire en la torre y el exterior, un flujo natural de aire frío en la parte inferior y una expulsión de aire caliente menos denso en la-

(3) Tesis profesional Ing. Javier Garfias. Diseño de una Torre de Enfriamiento de Agua de Tiro Inducido en una Fábrica de H_2SO_4 de 25 tons. diarias de capacidad. 1954.





- A ENTRADA PRINCIPAL DE AGUA CALIENTE
- B TANQUE CENTRAL
- C CANALES DE AGUA CALIENTE
- D TUBOS DE DISTRIBUCION DE ASBESTO
- E ENTRADA DE AIRE
- F PILETA
- G SALIDA DEL AGUA FRIA
- H INTERCAMBIADOR DE CALOR
- J COSTILLAS DE LA TORRE
- K CIMIENTOS DE LA TORRE

COMPONENTES DE UNA TORRE
MODERNA
DE TIRO INDUCIDO NATURAL

MICHELLE MOURET ZUAZUA FIG.3-3

parte superior. Estas torres deben ser altas para promover este efecto y deben tener una sección transversal grande, -- pues la velocidad de circulación del aire es baja, se vuelve a presentar aquí el caso de disminución del costo de operación por el costo de la potencia del abanico pero a su vez necesitan de más fuerza para el bombeo. En este tipo de torres lo más importante son las características de temperatura del aire siendo los costos iniciales también altos por lo que están pasando de moda.

Torres de Tiro Mecánico. -- Los dos tipos existentes -- tipo forzado y tipo inducido son semejantes en ese funcionamiento, siendo independientes de la velocidad del viento sufren menos pérdidas por arrastre de vapor ya que son cerradas, requiriendo así mismo menor espacio de instalación.

En la torre de tiro forzado Figura (3-4) el ventilador está colocado en la base y el aire se forza en la parte inferior descargándose a baja velocidad a través de una gran abertura en la parte superior de la torre. En estas condiciones el aire posee una cabeza de velocidad pequeña, tendiendo a asentarse en la trayectoria de entrada del abanico, contaminándose con aire parcialmente saturado la succión de aire fresco, reduciendo la capacidad de trabajo de la torre.

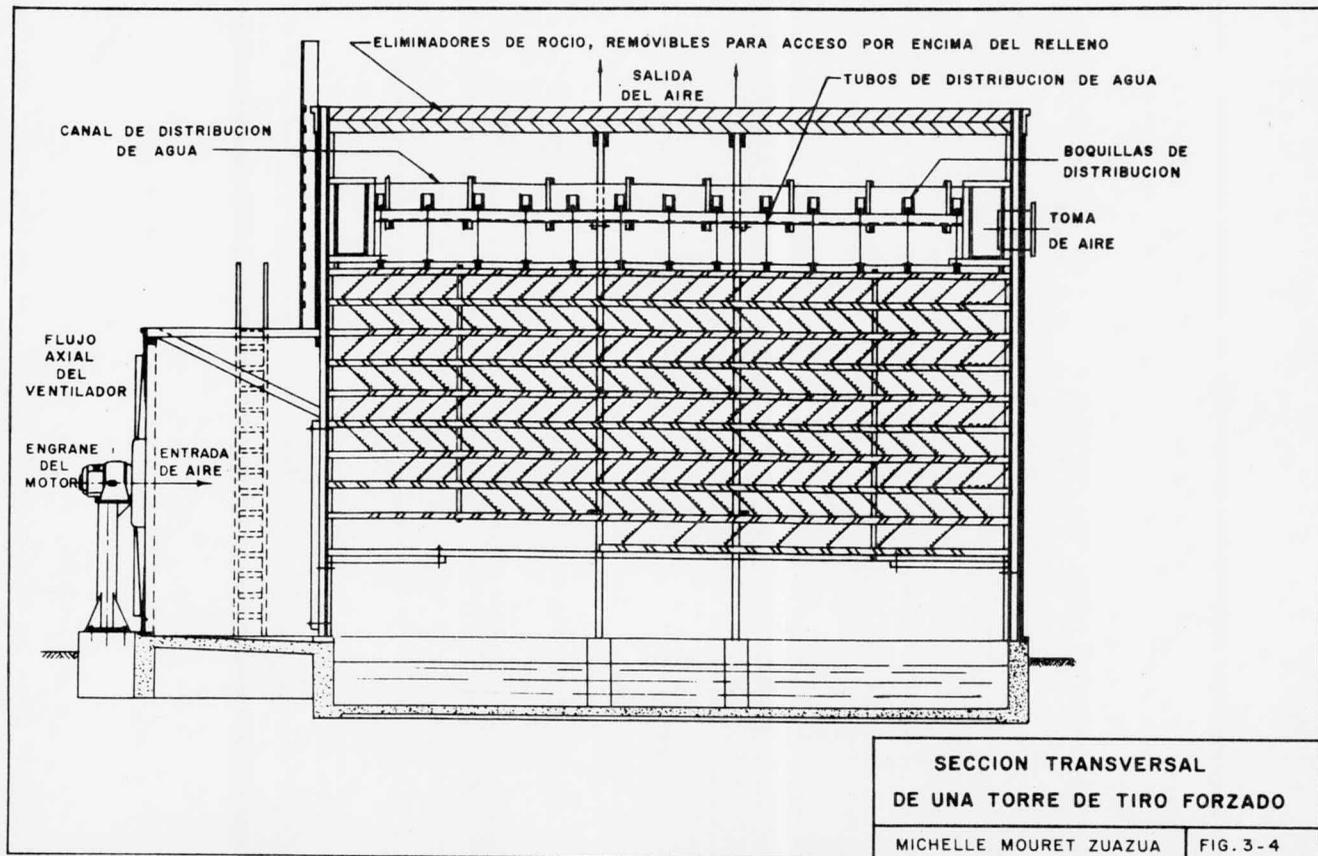
Como el tamaño del ventilador para las torres de tipo forzado está limitado (12 ft de diámetro) significa un ma-

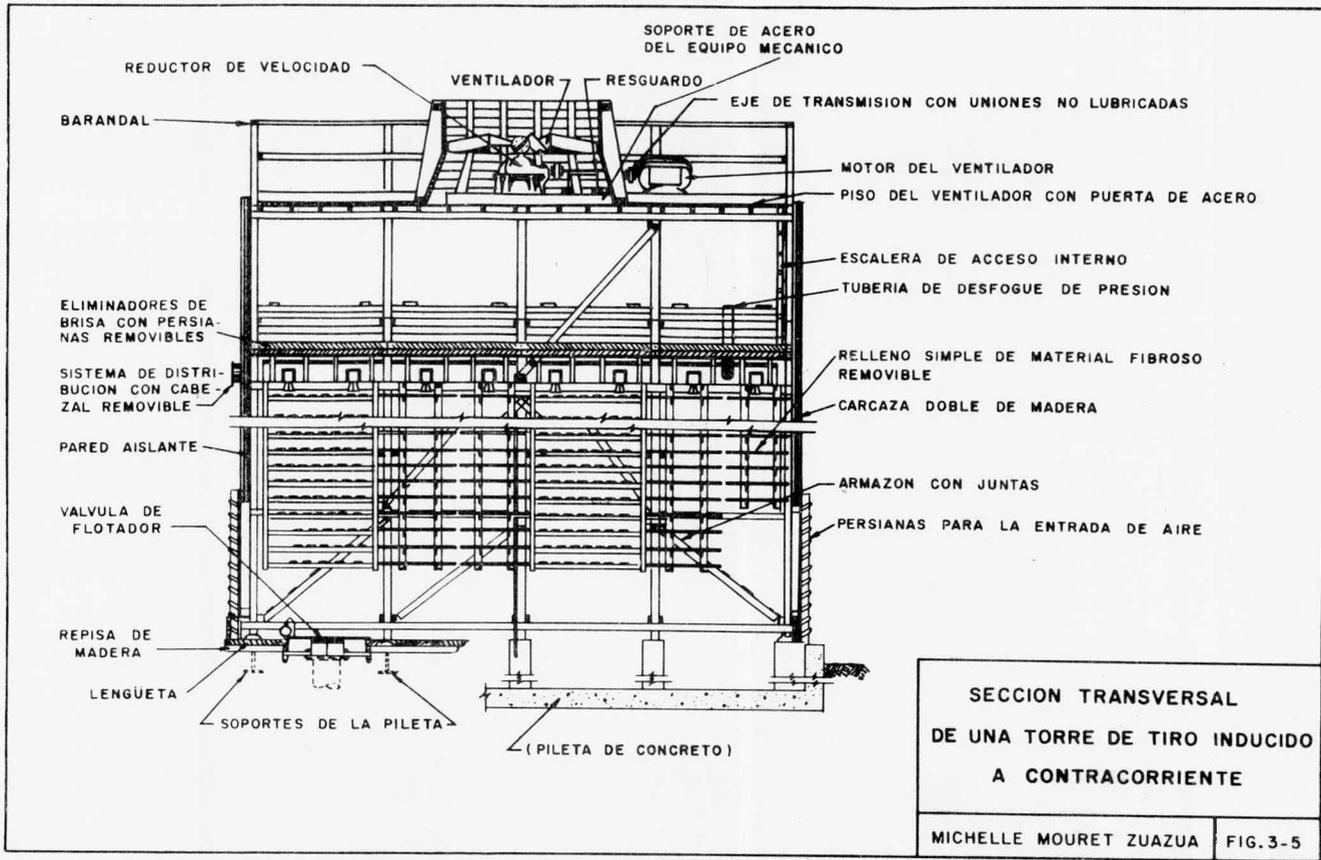
por número de ventiladores, motores, interruptores, etc. Para torres de grandes capacidades.

En la torre de tiro inducido.- Figura (3-5) el aire se descarga a través del abanico a alta velocidad, de manera que se proyectan hacia arriba hacia las corrientes naturales de aire, evitando su asentamiento posterior. La alta velocidad de descarga de estas torres causa algo de arrastre de agua por gotas que son arrastradas por la corriente de aire.

FACTORES A CONSIDERAR PARA EL DISEÑO DE TORRES DE ENFRIAMIENTO.

El primer problema que se presenta cuando un ingeniero de diseño llega a la conclusión de que existe la necesidad de una torre de enfriamiento, es el de como especificarla. - Para este propósito generalmente se sigue el método de aproximación de caja negra, es decir: se especifican únicamente las temperaturas del agua, las temperaturas del bulbo húmedo del aire y el flujo de aire, dejándose todo lo demás a la imaginación del manufacturero, razón por la cual en muchas ocasiones hay descontento por la forma en que se construyó la torre. Para evitar éste problema es necesario que el ingeniero químico tenga conocimiento de los factores principales que intervienen en el diseño de una torre de enfriamiento de tal manera que cualquier cambio o diseño especial que desee pueda realizarlo correctamente.





Se analizarán a continuación los principales factores existentes en la elección de una torre óptima, tales como: el proceso a seguir, condiciones del ambiente, equipo auxiliar y materiales de construcción.

CONSIDERACIONES EN LA ELECCION DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO.

1.- Tipo de ^{Proceso} Porceso Involucrado.-

El tipo, tamaño y materiales de construcción de una torre debe estar sujeto al tipo de proceso involucrado. (4)

Por ejemplo: Si en una torre de enfriamiento de un sistema de amoníaco existe una fuga de amoníaco, no se recomienda usar ligas de bronce, o con base de cobre. Si un proceso tira aceite dentro del sistema de recirculación de la torre, el balance de transferencia de calor del relleno y de los eliminadores de neblina se verán afectados considerablemente. La concentración del aceite puede no ser grande, puede ser tan pequeña como 30 a 40 p.p.m. de aceite en agua, pero puede causar una pérdida de eficiencia del 10 al 15%; en éste caso ésta pérdida podría rehacerse con un factor de seguridad.

Como este existen otros muchos materiales que producen el mismo efecto, éste puede ser contrarrestado en ciertos casos por medio de sistemas de recubrimiento.

(4) J.R. De Monbrun. Factors to Consider in Selecting a Cooling Tower Nuclear Div. Union Carbide Comp. Chemical Engineering. (Sept. 1968).

OPERACIONES A ALTA TEMPERATURA.

Aproximadamente 150°F es la temperatura máxima que soportará la madera húmeda sin pérdida progresiva de fuerza y resistencia. Esta pérdida de fuerza en la madera se debe generalmente al contenido de humedad, al área de exposición y tamaño y especie de la madera.

A temperaturas altas (160°F) se ha observado que la pérdida de fuerza de la madera es aproximadamente del 71%. -
mientras que a bajas temperaturas la pérdida es aproximadamente del 49%; por lo cual, si las torres se operan a altas temperaturas, se deberán tener en cuenta factores de seguridad, tomando en cuenta la pérdida de fuerza de la madera, de otro modo se deberá estudiar la torre de tipo cerámica; esta consiste en una pileta de concreto, la cual:

- 1.- Actúa como cimiento de la torre.
- 2.- Es una reserva para el agua fría y a su vez tanque igualador del agua de enfriamiento.
- 3.- Es un lugar donde el agua de recirculación puede descender lentamente permitiendo asentarse a la materia suspendida.
- 4.- Es una zona de mezclado donde el agua cruda y el agua de recirculación se mezclan uniformemente igualando temperaturas.
- 5.- Es un recipiente para coleccionar y asentar el lodo, sedimentos y otros arrastres.

Esta torre tipo cerámica consiste también en eliminadores de neblina de plástico, un relleno en bloques de tejas, paredes de ladrillo y losas, plataformas de concreto para el ventilador, etc.

TORRES DE ENFRIAMIENTO PARA PLANTAS QUIMICAS.

La mayoría de las plantas químicas emiten gases y vapores, algunos de ellos corrosivos; así cualquiera de éstos vapores que entren a la toma de aire, terminarán finalmente en el agua. Considerando éste problema se podría aconsejar que la torre se situara en un lugar donde los vientos prominentes entrarán a ella antes de alcanzar la mayor parte de la planta; sin embargo la salida de la corriente húmeda de la torre en contacto con los mismos gases de la planta, nos lleva a una atmósfera corrosiva. Generalmente se protege a la torre de los ácidos o gases caústicos, pues el agua así contaminada reduce la vida del equipo de proceso tales como cambiadores de calor.

EFFECTO DE LAS TEMPERATURAS DE BULBO HUMEDO Y SECO.

La temperatura de bulbo seco es la temperatura del aire a condiciones normales, mientras que la temperatura de bulbo húmedo es la temperatura mínima a la cual una torre de enfriamiento puede enfriar el agua por evaporación.

En una torre el agua es enfriada de dos maneras: evaporación y transferencia de calor sensible al aire.

Como no es económico ni factible diseñar una torre para enfriar el agua a la temperatura de bulbo húmedo (5) y presión barométrica del lugar, teniendo una cantidad de aire mínimo, pues nos obligará a tener una superficie de transferencia de calor y masa infinita, dado que el gradiente sería igual a cero en la parte superior de la torre, y por consiguiente el número de unidades de transferencia sería infinito, se escoge entonces una temperatura cercana a la temperatura del bulbo húmedo. La diferencia entre éstas dos temperaturas se llama acercamiento. La temperatura de bulbo húmedo de diseño es pues el punto de partida en la selección de la torre de enfriamiento.

Es muy común sobrediseñar esta variable con valores tales que sólo se presentarán pocas veces al año en los meses más calurosos, así pues se sugiere que la temperatura de bulbo húmedo más propicia sea aquella que ha sido superada sólo en un 5% en los meses más calurosos.

Generalmente los valores usuales de acercamiento son de 5 a 20°F, siendo un poco arbitraria la elección; pero es claro que de la buena elección de ésta, dependerá el ahorro

(5) MC. Kelvey, K. K. and Brooke. D. Van Nostrand Co. Princeton N.J. Coaling Towers. (1959).

en los costos totales del sistema.

Una vez enfriada el agua es recirculada a los diferentes equipos de enfriamiento de la planta, elevándose ésta -- hasta un nivel máximo permisible. La temperatura máxima del agua al entrar de nuevo a la torre de enfriamiento corresponde al llamado " rango de enfriamiento ". Se ha fijado una temperatura máxima (6) a la salida de los enfriadores de 120 a 175°F en base a la precipitación de sales en las tuberías a temperaturas relativamente altas, produciendo incrustaciones que a lo largo dañarían el equipo, pero se puede aumentar esta temperatura si se le da tratamiento al agua. Por otro lado se tiene las diferentes características de las maderas de construcción de las torres que no soportan temperaturas superiores a los 150°F como se mencionó anteriormente. Se debe también tomar en cuenta la pérdida de agua por evaporación de la misma (pérdida de calor latente). Esta pérdida debe suplirse para evitar que aumente la concentración de sólidos disueltos. Se puede considerar que la pérdida es del 0.90 a 1.20% del total del agua recirculada por cada 10°F de intervalo en la torre.

TRATAMIENTO DE AGUA.

La importancia de un programa de tratamiento de aguas

(6) Evans U.R. Edward Arnold and Co. Metallic Corrosion and Protection. 2nd. Ed. England. (1948).

es tal, que no sólo lo debemos considerar para los intercambiadores de calor sino también para las temperaturas de enfriamiento; esto es aún más importante si las torres están hechas de madera.

Al seleccionar un tratamiento debe considerarse en primer lugar que el agua recirculada debe tener un pH entre 6 y 7.5 para que el ataque químico de la madera se retarde al haberse reducido la alcalinidad. Es importante también el tipo de inhibidor de corrosión usado, recomendándose aquellos con base de cromatos son efectivos retardando la pudrición de la madera de pino aún usándose en pequeñas proporciones como -- 200 p.p.m.

MATERIALES DE CONSTRUCCION.

En la construcción de torres de enfriamiento se usan una gran variedad de materiales, (7), incluyendo varios tipos de madera, metales y plásticos, como también tablas de cemento-asbesto y concreto.

Armadura.- O corazón de madera de pino de California-ciprés, acero galvanizado, ladrillo o concreto.

Envolvente.- Madera de pino, ciprés, asbesto corrugado, bloques de concreto o ladrillo.

(7) J. F. Pritchard Co. Counter Flow Cooling Tower Performance. Kansas City. (1957).

Relleno.- Armador de escombros, madera de pino, ci--
prés, hojas de plástico, tablas de asbesto-cemento.

A.- ANALISIS DE LA MADERA.

Se analizará primeramente la madera pues su uso es el más extendido en procesos de plantas. (8).

Considerando las propiedades de la madera:

1.- La madera no se enmohece ni se corroe.

- a) Es resistente a los cambios de clima: lluvia, nie-
ve, a los rayos de sol, etc.
- b) Tiene buenas propiedades térmicas y aislantes eléc-
tricas.
- c) No es afectada por la electrólisis ni por corro-
sión por fatiga.
- d) Es resistente a la degradación por soluciones sua-
ves de ácido y cáustico.
- e) Es fabricada facilmente y moldeada aún con herra-
mientas muy sencillas.

La sección cruzada de madera de un árbol en crecimien-
to comprende dos zonas concéntricas: la interna, generalmen-
te coloreada mas oscura (ésta área se llama madera de cora-
zón), la otra banda circundante más angosta (se llama madera
alburente o tierna). La primera contiene células inactivas -

(8) C.H. Hoffman. Consider Wood for Process Plant Uses. Spe-
ciality Woods Inc. Chemical Engineering. (Marzo 20, ---
1972).

provenientes de la capa interna de la madera alburente, en esta madera se encuentran cavidades que contienen depósitos de extractivos, que le imparten resistencia al ataque químico, así pues ésta madera de corazón de las diferentes especies de árboles es lausada en plantas químicas.

ESPECIES CON MADERA DE CORAZON DE ALTA RESISTENCIA A PUDRIRSE.

Maderas Suaves (Coníferas).- Ciprés desnudo, cedro, - junípero, pino de California, tejo del Pacífico.

Maderas Duras.- Catalpa, castaño, mezquita, moral rojo, osage naranja, nogal.

La madera de pino de California ha sido la más ampliamente usada por su resistencia a la pudrición y porque mantiene su forma aún después de someterse a grandes cantidades de agua y a variaciones de temperatura.

Es importante el tratamiento que se le de al agua para impedir el crecimiento de algas y lama en la madera; a pesar de que el cloro gaseoso es muy efectivo, su uso excesivo produce ataques químicos, debiendo el agua que regresa a la torre, no tener cantidades superiores a 0.5 p.p.m.

En caso de que el cloro no funcione, se pueden usar fenoles y cianatos para tener un control total de los organismos bacteriológicos.

Sin embargo, no solamente el agua causa pudrición, si

no también algunos metales en contacto con la madera, para lo cual se han adaptado tratamientos preservativos a presión para diferentes tipos de madera. Estos preservativos son --- creosotas, pentaclorofenol, tributil, óxido de estaño, arseniato de cobre cromado, etc.

En la elección del tratamiento preservativo, deben considerarse factores como la de composición del agua circulante, tiempo de vida y costo de la torre.

B.- METALES PARA EL HERRAJE DE TUBERIAS.

El acero galvanizado y el recubierto por cadmio, son los menos caros de los empleados en los herrajes de una torre de enfriamiento (6).

Pueden encontrarse partes de acero cadminizado en sistemas de tuberías, estaciones de control de ventiladores y uniones de flechas motrices.

El acero galvanizado se ha usado ampliamente pero en ocasiones presenta el siguiente problema: en el tratamiento usado para el agua, ésta se controla del lado ácido, control que es bueno para la madera de pino, pero produciendo en cambio la corrosión del acero a un pH menor de 6.8. Los recubrimientos galvanizados pueden resultar catódicos al acero a alta temperatura (185 °F) del agua, mientras que el hecho de

(6) Evans U. R. Edward Arnold and Co. Metallic Corrosion & Protection. 2nd. Ed. England (1948)'

que el acero galvanizado esté en contacto con la madera, le produce a ésta un efecto negativo, pues al disolverse el recubrimiento, el material ferroso queda expuesto y constituye un medio favorable para el cultivo de bacterias que causan la pudrición de la madera. Sin embargo se siguen usando las tuberías de acero para los sistemas de distribución de las torres de enfriamiento, pues se ha visto que dan muy buen servicio, aunque algunas veces se tienen que cambiar al cabo de 4 a 5 años.

Se ha visto también que aunque las ligas de aluminio presten muy buen servicio en las torres, debe de tenerse mucho cuidado en la selección de dichas ligas y en su instalación, pues se puede producir una corrosión en las juntas de aluminio si no se coloca un forro aislante apropiado para prevenir esta corrosión por falta de oxígeno.

PLASTICOS, TABLONES DE CEMENTO - ASBESTO.

De los diferentes tipos de plásticos disponibles para torres de enfriamiento, el más usado hasta la fecha ha sido el poliéster reforzado con vidrio, que da muy buenos resultados. Existe un problema con los materiales resinosos de fibra de vidrio y es el sellado de la resina en la fibra de vidrio de tal manera que esta no esté expuesta a la cascada de agua. El debilitamiento de la resina se puede presentar alrededor de las fibras expuestas dando como resultado una pérdida

da de fuerza.

Dado el alto precio de éstos materiales, generalmente su uso está limitado en el reemplazo de la madera; por otro lado, éste material es aún más combustible que la madera pues no absorbe nada de humedad y por lo tanto necesita de mayores normas de seguridad para evitar accidentes.

Los tablones de cemento-asbesto se usan en las torres de enfriamiento como paredes exteriores, celosías de ventilación y aún como empaque, dando buen servicio en las torres atmosféricas.

Se revisaran ahora algunas de las piezas más importantes del equipo auxiliar que son esenciales para la operación adecuada de una torre de enfriamiento.

ENGRANAJES Y MOTORES.

Los más usados son los engranajes hipoidales, helicoidales y de bisel espiral.

Algunos de los factores a considerar en la elección de engranajes, son los tipos de sellos, fluidos lubricantes y sistemas de lubricación. Generalmente los sellos mecánicos en los ejes exteriores de los engranajes, son susceptibles a la penetración de humedad, creando problemas con el fluido lubricante, aumentando la corrosión. Se sugiere que en estos casos se coloque un ensamble de taponamiento en forma de laberinto y que consiste en una superficie maquinada fija y o-

tra rotatoria, selladas con grasa resistente a la humedad. - Este método ha sido probado y ha dado resultados satisfactorios al reducir la cantidad de humedad presente.

Se pueden fabricar los sellos de las flechas, de goma, cuero y neopreno o material sintético.

Dado que los lubricantes clasificados como materiales de extrema presión son susceptibles a emulsificarse cuando penetra humedad a la unidad de engranes, se prefieren los aceites de tipo mineral directo. Muchas veces es necesario para prevenir la corrosión, el recubrir la parte interna del engrane con resinas epoxi, quedando a criterio del operador de la torre de frecuencia del cambio de lubricante, que ciertamente no debe ser mayor de doce meses.

La selección de los materiales aislantes para motores en torres de enfriamiento deberá hacerse en base al tipo de operación, sea intermitente o continua y a la localización del motor (dentro o fuera de corrientes de aire húmedo).

UNIDADES DE CABEZA ENGRANADA.

La unidad integral de cabeza engranada, con el motor montado directamente en el reductor y la unidad instalada verticalmente en la torre de enfriamiento, ofrece muchas ventajas. El peso está distribuido más uniformemente, no hay ex^upuestos ejes de transmisión o acoplamiento y el alineamiento

se efectúa cuando la unidad es ensamblada originalmente. Como resultado, el número de sellos de grasa o aceite se reduce en un 50%. También, dado que no se requiere un eje de --- transmisión expuesto, la vibración del ventilador tiende a - reducirse.

Las desventajas de las unidades integrales son la migración de humedad hacia la caja de engranaje y la pérdida - de aceite debida al diseño del sello lubricante. Dado que di chas unidades contienen una menor cantidad de aceite (compa rado con los reductores convencionales de ángulo recto) la - introducción de aún pequeñas cantidades de agua y la pérdida de aceite provocan fallas. Los cambios de aceite deben por - lo tanto ser más frecuentes que con unidades convencionales.

El campo de reductores para torres de enfriamiento re quiere un gran mejoramiento. Las unidades propuestas impulsa das hidráulicamente parecen ser ideales ya que la variación - de velocidad no será problema y la remoción de filtraciones - y humedad del aceite podría ser hecha en la unidad básica. - Posiblemente podrían usarse lubricantes resistentes al fuego con objeto de disminuir el peligro del mismo.

EJES DE TRANSMISION, ACOMPLAMIENTO Y GUARDAS DE FLECHAS.

Algunas de las más antiguas torres de enfriamiento -- fueron equipadas con acoplamientos de tipo universal y tubos

de torsión de acero al carbón para el eje de transmisión. Ta les acoplamientos eran lubricados con grasa, pero su vida de servicio no fué larga debido a la falta de una lubricación a adecuada. También el alineamiento fué descuidado debido a que no se consideró crítico. Durante el verano, cuando la demanda de la torre está en su máximo, los ventiladores tenían -- que sacarse de servicio para engrasar los acoplamientos. Había sin embargo torres críticas cuyos ventiladores no podían ser desmontados ni aún por cortos períodos de tiempo. Esto, -- aunado al hecho de que transitan alrededor de una torre de -- enfriamiento con un engrasador no es un trabajo muy agradable daba como resultado una falta de lubricación y por lo tanto fallas en los acoplamientos.

El eje de transmisión más comunmente usado hoy día es el tubo de torsión con pestañas, de acero inoxidable con acoplamientos inoxidables de disco. Sin embargo, alguno de es--tos ejes de transmisión han fallado debido a roturas por fatiga de corrosión provocada por cloruros (principalmente -- donde el tubo de torsión se suelda a las pestañas). El acero inoxidable que va a ser usado en torres de enfriamiento -- debe ser relevado de esfuerzos después de su lubricación, -- con objeto de eliminar tales roturas.

Las fallas en acoplamiento y ejes de transmisión señalan la necesidad de instalar guardas de flecha, una en el ex-

tremo donde se encuentra el motor y la otra en el extremo del reductor. En caso de ocurrir una falla, la flecha quedaría - contenida en la guarda y no lanzada hacia las aspas rotativas.

El acero estructural unitario es de primera importancia para mantener el alineamiento de las unidades mecánicas. Cuando, por ejemplo, se usan soportes de madera, aunque el mecánico pueda alinear las unidades perfectamente, su propio peso sobre los soportes puede causar suficiente deflexión para que la unidad quede desalineada cuando el se va.

Algunas de las primeras aspas de ventiladores fueron hechas de plástico laminado, madera revestida y acero al carbón pintado. Las aspas se ampollaban entre las capas de plástico, las ampollas acumulaban agua, lo cual daba como resultado un desbalance entre las aspas. El revestimiento de la madera experimentaba el mismo ampollamiento y por lo tanto un desbalance similar.

Ya que las aspas de acero al carbón pintado eran en su mayoría huecas y la pintura de los filos delanteros de las aspas, fallaba tan rápidamente que la corrosión aparecía, la mayoría de estas unidades tenían agujeros de purga al final de cada aspa para permitir que el agua acumulada en el interior fuera descargada por centrifugación. Pero el abandono para limpiar estos agujeros provocaba grandes desbalances en las aspas.

Hoy día, las aspas se forman de aluminio extruído o fundido, acero inoxidable extruído y resina epoxy reforzada con vidrio.

Las aspas de fundición de aluminio, aunque pesadas,-- han prestado un servicio excepcional. Sin embargo es necesario tomar ciertas precauciones, tales como evaluar la atmósfera a la cual estarán expuestas las aspas. Por ejemplo, en una torre normal, donde el control del pH es bueno y donde no hay lugar de proceso, la atmósfera no debe ser corrosiva para el aluminio. Pero en cualquier atmósfera, la espiga de aluminio del aspa estará sujeta a corrosión galvánica entre los metales disímiles debido a la fijación de acero del aspa. Esto puede ser evitado aislando las espigas con resina epoxy y fibra de vidrio.

Muchas aspas de acero inoxidable se forman dentro de diseños de planos aerodinámicos, como el ala de un avión, pero las espigas de las aspas son normalmente de acero al carbón y requieren un revestimiento protector. Ya que muchos de los diseños tienen todavía el agujero de purga al final de cada aspa, el agujero debe ser inspeccionado cuando menos cada seis meses.

Las aspas de epoxy reforzado con vidrio (relativamente nuevas en el mercado) tiene muchas ventajas. Están virtualmente libres de corrosión y proporcionan importantes fac

tores de seguridad:

1) las aspas son mucho más ligeras que las hechas de aluminio fundido.

2) Tales aspas se colapsan ante el impacto. Cuando un ventilador falla, hay muchas posibilidades que las aspas se mentengan dentro del anillo del cilindro.

Uno de los más importantes factores que hay que considerar en la selección de cualquier ventilador, es que cada - aspa debe estar balanceada estáticamente y acoplada. También a mayor número de aspas por ventilador, tenemos usualmente - menor vibración, éste punto debe cuidarse ya que cualquier - inversión extra dedicada a reducir vibraciones en una torre de enfriamiento, trae como consecuencia un aumento en los -- costos de operación.

Otra característica que es necesario condierar es que el claro de la punta del aspa se mantenga al mínimo debido a que la pérdida de aire bombeado significa potencia desaprovechada y costos de operación más altos. Para mantener los claros de las aspas al mínimo (aproximadamente 0.75 pulgadas) el anillo del cilindro del ventilador debe ser muy robusto - para evitar pulsación y contacto con las puntas de las aspas.

También es importante que el cubo se diseñe con su -- propio sello. Si no, debe considerarse una cubierta de cubo-

separada para reducir la cantidad de aire recirculando atrás de la succión del ventilador. Un diseño pobre del cubo puede dar como resultado un desperdicio de potencia.

SOPORTES DE ACERO ESTRUCTURAL.

La importancia del alineamiento del reductor y el motor es un punto que debe tomarse en cuenta, ya que la vida de servicio de los cojinetes del motor, de los cojinetes del reductor y del eje de transmisión, dependen de él.

La forma más satisfactoria de mantener este alineamiento consiste en instalar las unidades en una estructura de acero unitaria y soldada, diseñada para soportar el peso muerto de las unidades y el empuje hacia abajo de el ventilador bajo condiciones de plena carga. El soporte debe extenderse sobre el ancho total de la cavidad y conectarse a todas las columnas verticales para distribuir perfectamente todo el peso del equipo. Entonces si ocurre cualquier movimiento vibratorio, el sistema mecánico completo se moverá al unísono.

ANILLOS DE VENTILADOR, INTERRUPTORES DE VIBRACION.

Hay muchos tipos de anillos de ventilador, pero básicamente, todos caen dentro de dos categorías: el anillo de ventilador regular y el cónico. El primer tipo es hecho usualmente de duelas pulidas de pino y de miembros estructurales hechos también de pino. En algunos casos se usa triplay "gr

do marino". Este tipo de anillo es usualmente de 4 a 6 pies de altura.

El anillo cónico (o con forma de venturi) el cual - puede ser de 10 a 12 pies de altura puede aumentar la efi--- ciencia del ventilador hasta un 10% si está diseñado con una entrada de flujo laminar al cono que cuenta con claros en las puntas de las aspas del orden de 0.75 a 0.625 pulgadas. Debido a esto, es llamado recobrador de velocidad.

Los anillos de ventilador regulares o de pequeña altura se cubren algunas veces con una malla de servicio pesado para evitar que entren objetos al ventilador mientras está - en operación; o con el fin de mantener las aspas dentro del anillo de ventilador se someten a esfuerzo como medida de - seguridad, lo que realmente necesitaría mejorarse sería el anillo del ventilador mismo, el cual debe ser diseñado a fin de ser capaz de contener todas las aspas él mismo.

Un interruptor de vibración concetado en serie con la estación de control del ventilador puede ser lo más económi- co. Este interruptor es usualmente instalado en el soporte - de acero estructural para el engranaje mecánico o en la línea de aceite que se extiende desde el reductor hacia la salida del anillo del ventilador.

Aunque el interruptor debe ponerse a tal sensibilidad que el arranque y paro normal del ventilador no motive que -

suelte, debe no obstante, detectar vibración excesiva y automáticamente para el ventilador. Los materiales de construcción deben ser: caja de hierro, fundido galvanizado, empaquetaduras de neopreno y partes sensibles de acero inoxidable. Para confiabilidad, todas las partes metálicas deben protegerse contra la corrosión.

C A P I T U L O I V .

SELECCION DE LA ALTERNATIVA MAS ADECUADA Y DESCRIPCION GENERAL.

a) Selección de equipo.

Una vez analizados los diferentes equipos de enfriamiento y dado que la selección del equipo adecuado deberá -- quedar supeditada a los siguientes factores:

- 1.- La unidad deberá presentar las menores pérdidas posibles de agua por arrastre de vapor para tener una mayor eficiencia.
- 2.- Deberá evitarse que el equipo se quede sujeto a variaciones climatológicas, pues en ese caso el enfriamiento del agua no tendría la eficiencia propuesta.
- 3.- Deberá ser un equipo cerrado, puesto que la zona de Ecatepec es una zona industrial en la que se producen humos contaminantes que pudieran afectar el agua al ser arrastrados por el aire.
- 4.- Aunque la fábrica posee un área disponible bastante grande, está destinada a una posible ampliación de la planta, quedando por consiguiente el diseño de la to-

rre de enfriamiento de agua supeditado al costo y si es posible al aprovechamiento de la menor superficie de terreno.

Se escoge la torre de enfriamiento de tiro inducido - para enfriar el agua caliente que sale de los diferentes equipos de la planta de BEISA, ya que los otros equipos o bien - resultan más costosos, o no cumplen con los requisitos mencionados.

Ahora bien, se tienen dos tipos de torres de tiro inducido:

La contracorriente (counter flow) en la cual el flujo de - aire penetra por el fondo de la torre y asciende verticalmente en dirección contraria al agua, que cae en cascada. El otro tipo, es la de flujo transversal (cross flow), la cual fué el resultado de un mejor diseño, con mayor capacidad y - facilidad de operación, aquí el flujo de aire penetra transversalmente permitiendo que el agua lo atravesase en forma de pequeñas gotas sin mostrar mucha resistencia, Figura (4-1).= Las partículas de agua son enfriadas por transferencia de calor convectiva y transferencia de masa del vapor de agua (evaporación) pues el aire es arrastrado hacia el interior a través de la celosía por el ventilador.

* De estos dos modelos se escogerá la torre de enfriamiento

* Existen varios tipos de torres de flujo transversal, eligiéndose el más apropiado de acuerdo al tipo de trabajo al que se destine: el tipo sencillo, el tipo doble y el tipo gemelo. (1).

(1) Donald Q. Kern. Procesos de Transferencia de Calor. Editorial Continental. (1974).

miento de tiro inducido a contra corriente ya que se representa un área efectiva mayor que la segunda, ésto se debe -- principalmente a que en la de flujo transversal el área por debajo del ventilador representa un espacio muerto, que no - podemos aprovechar.

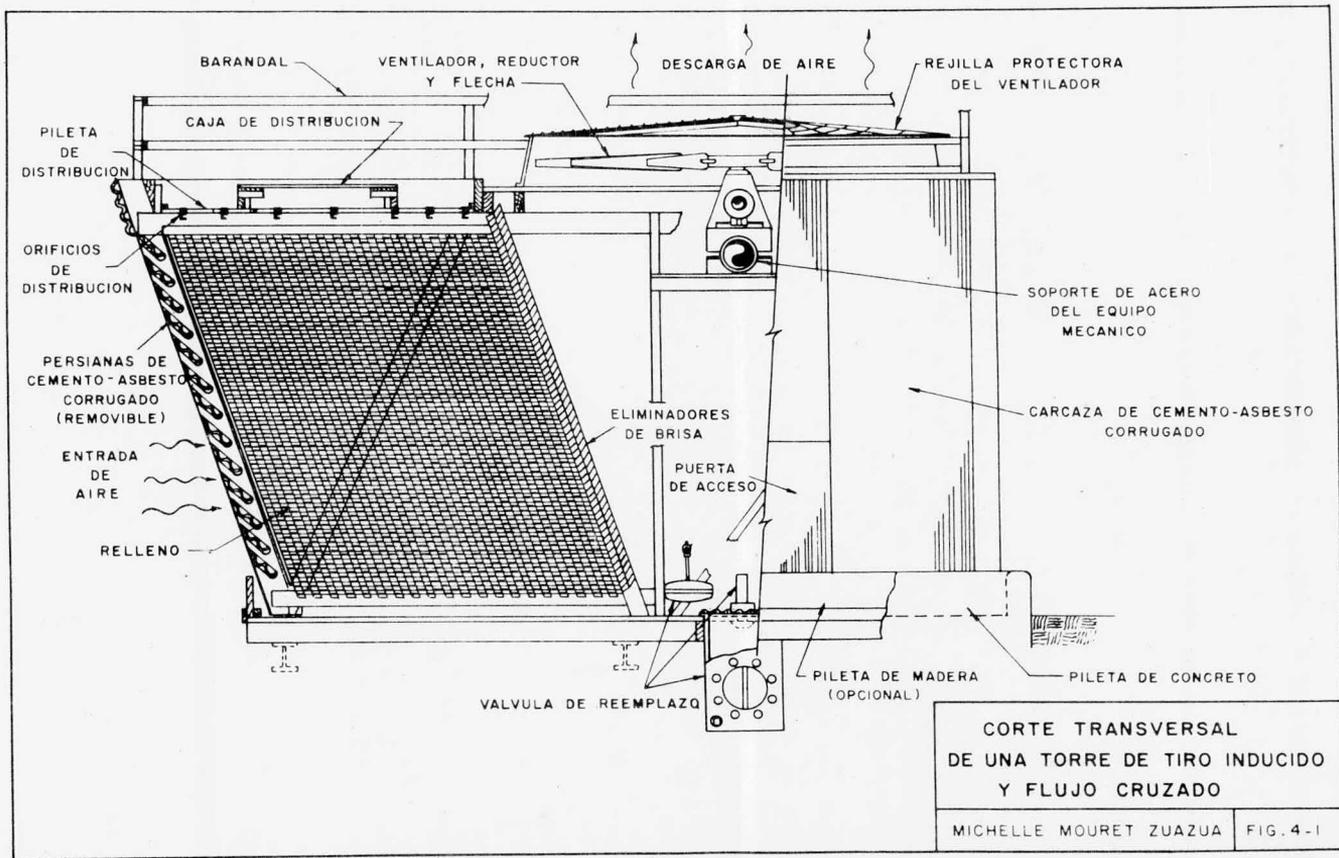
b) Funcionamiento General.-

La figura (4-2) representa una torre de enfriamiento de tiro inducido a contra corriente.

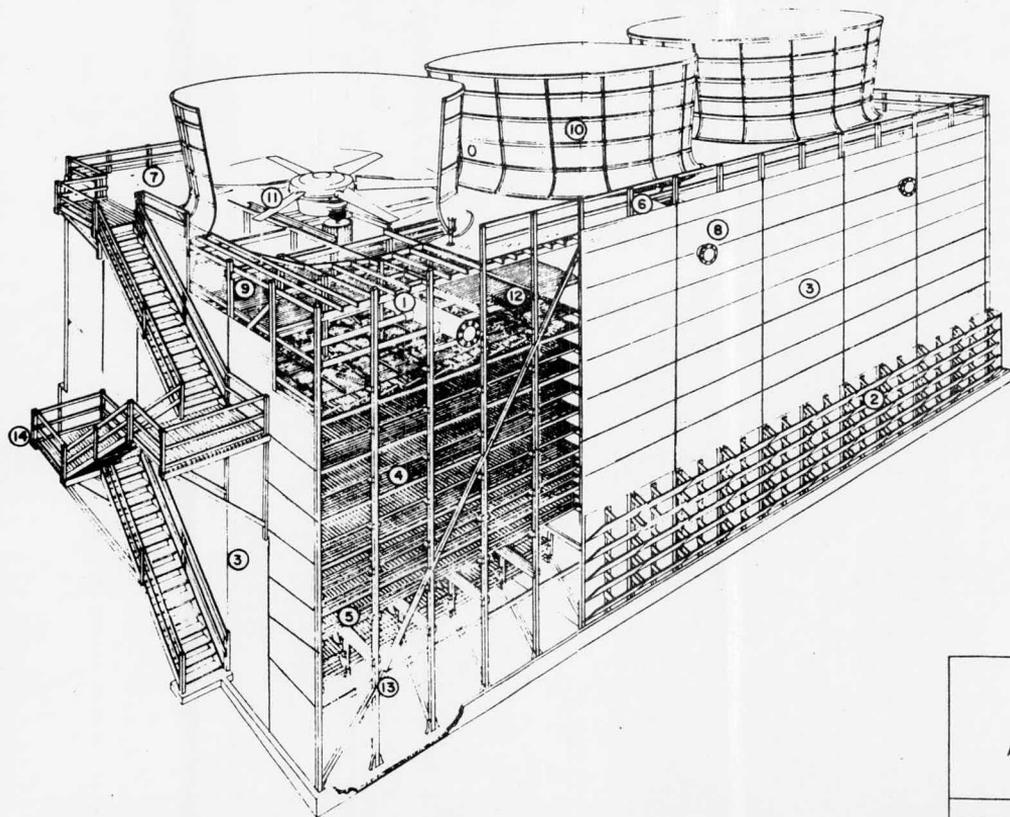
Se bombea el agua hacia la tubería de distribución localizada en la parte superior de la torre, ahí se distribuye a varias boquillas donde el agua se pulveriza, dejándola gotear después en las rejillas inferiores, se aconseja colocar eliminadores de brisa en la zona localizada entre el ventilador y la zona de pulverización, esto se hace con el objeto - de quitar el exceso de humedad que pudiera arrastrar el aire. Se hará a continuación una descripción detallada de este tipo de torre.

c) Estructura.-

Consiste en columnas, puntales diagonales, uniones longitudinales y transversales. Las juntas en todas las intersecciones de las columnas se diseñan para soportar cargas de viento superiores a las que normalmente existen en el lugar donde se encuentra localizada la planta, de tal forma que --



**CORTE TRANSVERSAL
 DE UNA TORRE DE TIRO INDUCIDO
 Y FLUJO CRUZADO**
 MICHELLE MOURET ZUAZUA FIG. 4-1



CLAVE

1. SISTEMAS DE DISTRIBUCION
2. PERSIANAS AJUSTABLES
3. LADOS CERRADOS
4. NIVELES ENREJADOS
5. NIVELES ADICIONALES DE RELLENO
6. ACCESO
7. NIVEL DEL VENTILADOR
8. SISTEMA DE DISTRIBUCION INDIVIDUAL POR CELDA
9. SISTEMA DE ROCIO (OPCIONAL) -
10. CUBIERTA DE FIBRA DE VIDRIO DEL VENTILADOR
11. VENTILADOR, MOTOR Y REDUCTOR DE VELOCIDAD
12. ELIMINADORES DE BRISA
13. CONEXIONES ESTRUCTURALES
14. ESCALERA

TORRE TIPO FLUJO

A CONTRA-CORRIENTE

MICHELLE MOURET ZUAZUA

FIG 4-2

los esfuerzos se transmitan directamente a la base de la torre, también deben soportar cargas sísmicas, generalmente no se usan clavos fortaleciendo así la rigidez.

Las dimensiones nominales que generalmente se usan para los materiales de construcción en especial madera de pino de California tratada son: (2)

MIEMBRO ESTRUCTURAL	DIMENSIONES NOMINALES.
COLUMNAS	4 x 4
	4 x 4
PUNTALES	3 x 4
	4 x 6
Cuerdas longitudinales y transversales.	2 x 4
Soportes de viga.	2 x 6
	2 x 8

Tratamiento de la madera.

Toda la madera de la torre debe tratarse previamente a presión con cromato de cobre hasta obtener una retención de 0.75 lb/ft^3 .

Cubierta del Ventilador.-

Figura (4-3a). Debe diseñarse para una carga mínima de $60 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2}$ más cualquier carga concentrada o distribuida - resultante de la operación y construcción usual de la torre.

(2) Technical Specifications. Induced Draft. Counterflow Cooling Tower. Ecodynes Cooling Products. Division.

La cubierta consiste en una capa de dos pulgadas de -
madera de corazón de pino de California tratada, unida con -
bordes y aristas recubiertas con teco (adhesivo especial pa
ra madera laminada.).

Las juntas de la cubierta deberán apoyarse en los so-
portes de juntas que son de madera estructural seleccionada-
de 2" x 8", que deben atornillarse a la estructura principal
de la torre.

Puede opcionalmente la cubierta recubrirse con hojas-
de asbesto-cemento de 4' x 8' y de 1/4 in de espesor.

Eliminadores de Brisa.-

Figura (4-3b) Los eliminadores se instalan sobre el-
sistema de distribución del agua para evitar pefdidas de és
ta por arrastre del aire. Las hojas se construyen de una so-
la pieza, de cloruro de polivinilo y se estiran a presión. U
na estructura angular, hecha también de P.V.C., enclava las-
hojas en posición de ángulos rectos, con el fin de forzar la
corriente a girar súbitamente, para que las gotas de agua se
separen de la corriente de aire. Este arreglo produce una mí
nima caída de presión, así como una mínima pérdida de agua -
por arrastre.

Paredes Divisorias.-

a) Transversales.- Se extienden desde la cubierta del

ventilador a una pulgada por debajo de la pileta de depósito de agua, deben tratarse con teco también. Las paredes deberán prearmarse en paneles de madera.

b) Longitudinales.- Si es necesario colocar dos ventiladores por celda, debe instalarse una mampara de viento longitudinal consistente en paneles de madera de 1/2" al centro de la torre, paralela a las torres de aire y extendiéndose - desde el tope de las persianas hasta 1 ft por debajo de la - pileta.

Carcaza.-

Deben usarse paneles de asbesto-cemento corrugado. Con corrugaciones de 3/8" de grueso y 3' 6" de ancho. 6'6' de -- largo, instalándose en bordes recubiertos también con corrugaciones corriendo horizontalmente para que las juntas horizontales y verticales estén en línea.

Cada panel debe unirse a la estructura principal de - la torre en cada columna con: tornillos de acero inoxidable, Todas las juntas deben sellarse con mastique de alta calidad para prevenir rupturas y fugas.

Las fibras de vidrio corrugadas de los paneles de po-- liéster reforzadas con el monómero de metil metacrilato presentan una mayor resistencia al clima.

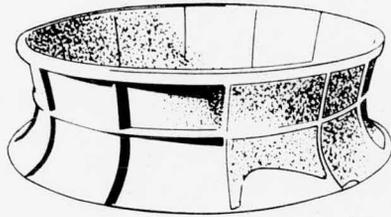


FIG. 4-3a CUBIERTA DEL VENTILADOR

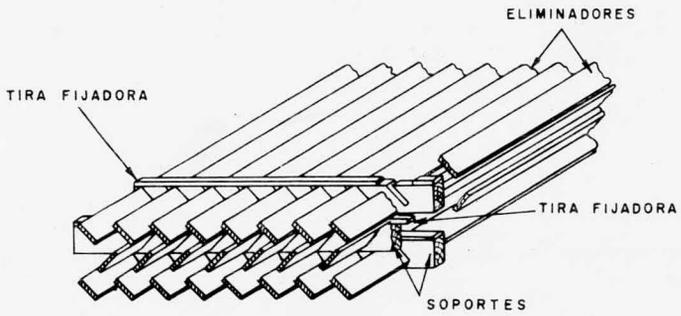


FIG. 4-3b ELIMINADORES DE BRISA

FIG. 4-3a CUBIERTA DEL VENTILADOR

FIG. 4-3b ELIMINADORES DE BRISA

MICHELLE MOURET ZUAZUA

FIGS. 4-3

Persianas (Louvres) .-

Figura (4-4a) Se instalan a las entradas de las tomas de aire para evitar que el agua se pierda al salpicar -- fuera de la torre.

Están formadas por postes en los cuales se hacen ranuras diagonales a espacios iguales, en estas ranuras se colocan las tablillas de madera; a los postes no les afectan los esfuerzos a que están sometidas las demás estructuras, pues son independientes. Las tablillas no se clavan para que puedan ser removibles y tener libre acceso a la parte inferior de la torre.

Una variante es la de colocar las tablillas verticalmente para impedir el acceso de aires muy fríos en temporadas de invierno, para lo cual se hacen ranuras verticales en los postes.

Las persianas deben ser paneles corrugados de 2" de ancho x 5/8" de largo para permitir el ajuste angular de posición cerrada vertical a 15°; 30° a la posición standar de operación a 45°. Cada hoja debe ser aserrada a listas de madera clara, con uniones de acero galvanizado y debe enclavizarse en la base de la hoja con pernos, para un ajuste fácil del ángulo o bien, para cerrarlas durante el invierno.

Empaque.-

a) Polygrid.-

Figura (4-4b) Las planchas de relleno de plástico se fabrican de polipropileno moldeado, estas planchas se forman en unidades de 3' x 6', dos de estas rejillas se instalan en cada tramo de 6' x 6' de la torre de enfriamiento.

Cada rejilla se moldea para que forme cuadros de 2' x 4' y de 1 3/4' de profundidad en un patrón continuo. Instaladas en capas alternadas, se divide el área libre en cuadrados de 1" x 1" cada cuatro capas, lo que nos produce un mayor rompimiento del agua con una restricción mínima de aire. Cada plancha es soportada con miembros de madera de pino de 1" x 4" ó bien de 2" x 4". Cada hilera de planchas se instala con los ejes longitudinales de las varillas rotados un ángulo de 90° de las mismas.

b) Madera de Pino.

Esta se usa cuando ciertas condiciones restringen el uso de las anteriores. Se construyen generalmente de materiales con dimensiones nominales de 1" y para que soporten una carga de $25 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2}$.

Este tipo de relleno consiste en tablones ensamblados individualmente de varias medidas hechos de madera clara de-

pino. Cada fila de rejillas deberá instalarse con espaciamientos verticales y horizontales de acuerdo al diseño escogido. Cada fila de tablonés se instala con los mismos soportes y en la misma forma que el relleno anterior.

Sistema de Distribución del Agua.-

Existen dos tipos de sistemas distribuidores de agua, el de boquillas pulverizadores Figura (4-4c) (que es el más-usado) y el de tipo de gravedad. El primero consiste en una tubería alimentadora principal que distribuye el agua a una serie de rubos laterales. Se instalan en los tubos a intervalos apropiados, boquillas que se esparcen uniformemente hacia arriba. El sistema se soporta rígidamente a un nivel constante para permitir el acceso para la inspección y mantenimiento libre.

Estas boquillas son del tipo no obstruccionable, introduciéndose el agua lateralmente y tangencialmente para que adquiera un movimiento en espiral pues su funcionamiento depende de la fuerza centrífuga. Esta acción genera la velocidad suficiente para una dispersión fina, asegurando un tamaño uniforme de partícula. El sistema de distribución del agua debe ser un sistema de esparcido a baja presión, protegido de la acción directa del sol. Se instala por debajo de los eliminadores removibles de aire, para que durante el proceso se pueda llegar hasta ellos. En el caso de que sean ne-

cesarias varias celdas, es conveniente que cada una de ellas tenga una conexión por separado para permitir un máximo de flexibilidad en la operación.

El cabezal central de los tubos se fabrica de acero galvanizado y se diseña para soportar una presión de 15 lb/in². Las tuberías laterales se hacen de P.V.C. cédula 40 y se extienden a partir del ramal central por uniones del tipo anillos "O", éstas deben también estar soportadas para evitar su vencimiento. Puede existir la posibilidad de que tanto el ramal central como los laterales se construyan de fibra de vidrio.

Acceso.-

Se debe construir una escalera de madera de pino para permitir el acceso al nivel del ventilador, la escalera debe estar provista con pasamanos de madera para seguridad del personal.

Los largueros y peldaños de la escalera deben ser de 2" x 10", también de madera. La escalera tendrá 30" de ancho y correr a un ángulo de 45°.

Es conveniente que se construya una puerta en el nivel del ventilador con acceso a los eliminadores de aire e inspección tanto del motor como del reductor de velocidad.

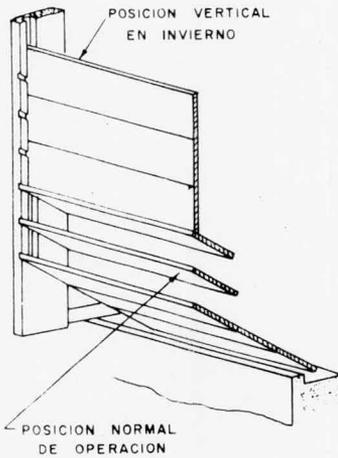


FIG. 4-4a PERSIANAS

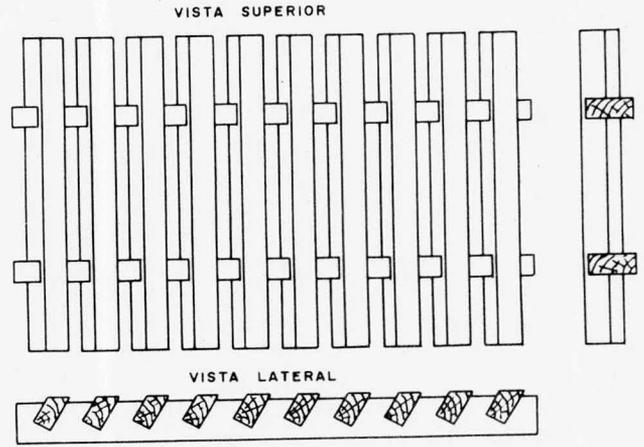
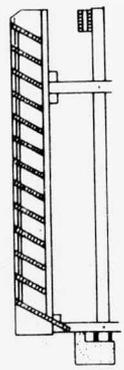


FIG. 4-4b EMPAQUE DE TABLILLAS

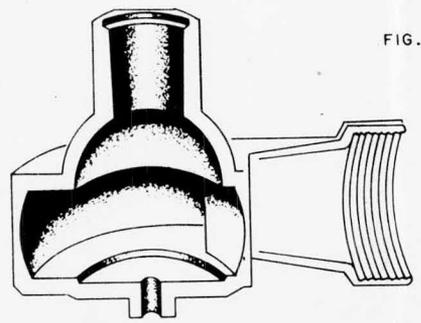


FIG. 4-4c BOQUILLA PULVERIZADORA

FIG. 4-4a PERSIANAS	
FIG. 4-4b EMPAQUE DE TABLILLAS	
FIG. 4-4c BOQUILLA PULVERIZADORA	
MICHELLE MOURET ZUAZUA	FIGS. 4-4

Se recomienda también que una sección removible de los eliminadores se coloque en la base de la escalera para permitir el paso al sistema de distribución.

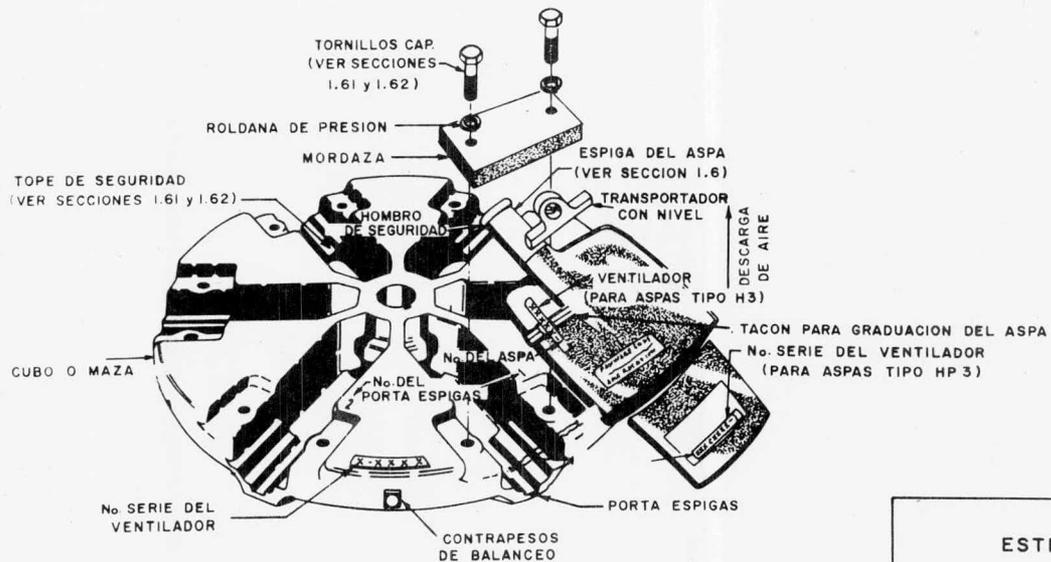
Ventilador.-

Fig. (4-5). Ya que la relación agua-aire es la que -- tiene primordial importancia pues gobierna el funcionamiento de la torre, el equipo de ventilación debe asegurar la correcta masa de aire.

Podemos notar la importancia del ventilador en el hecho de que aproximadamente trabajando en condiciones promedio cada 10% de reducción en la cantidad de aire necesaria -- aleja la aproximación 1 grado. Para conseguir una operación flexible en la torre, las hojas del ventilador se pueden ajustar a diversos ángulos regulando así el flujo de aire.

Ventiladores de 12' de diámetro.-

Los ventiladores de fibra de vidrio deben construirse con láminas de fibra unidas fuertemente con resinas sintéticas. Las hojas deben ser huecas, ligeras de peso y deben diseñarse aerodinámicamente para una mayor eficiencia, también deberán ser resistentes a abrasivos, productos químicos, a la humedad y al impacto. La superficie de las hojas se refuerza con resinas seleccionadas para una resistencia a la corrosión y erosión. Generalmente se construyen de seis u o-



**ESTRUCTURA
 DEL VENTILADOR**

MICHELLE MOURET ZUAZUA FIG. 4-5

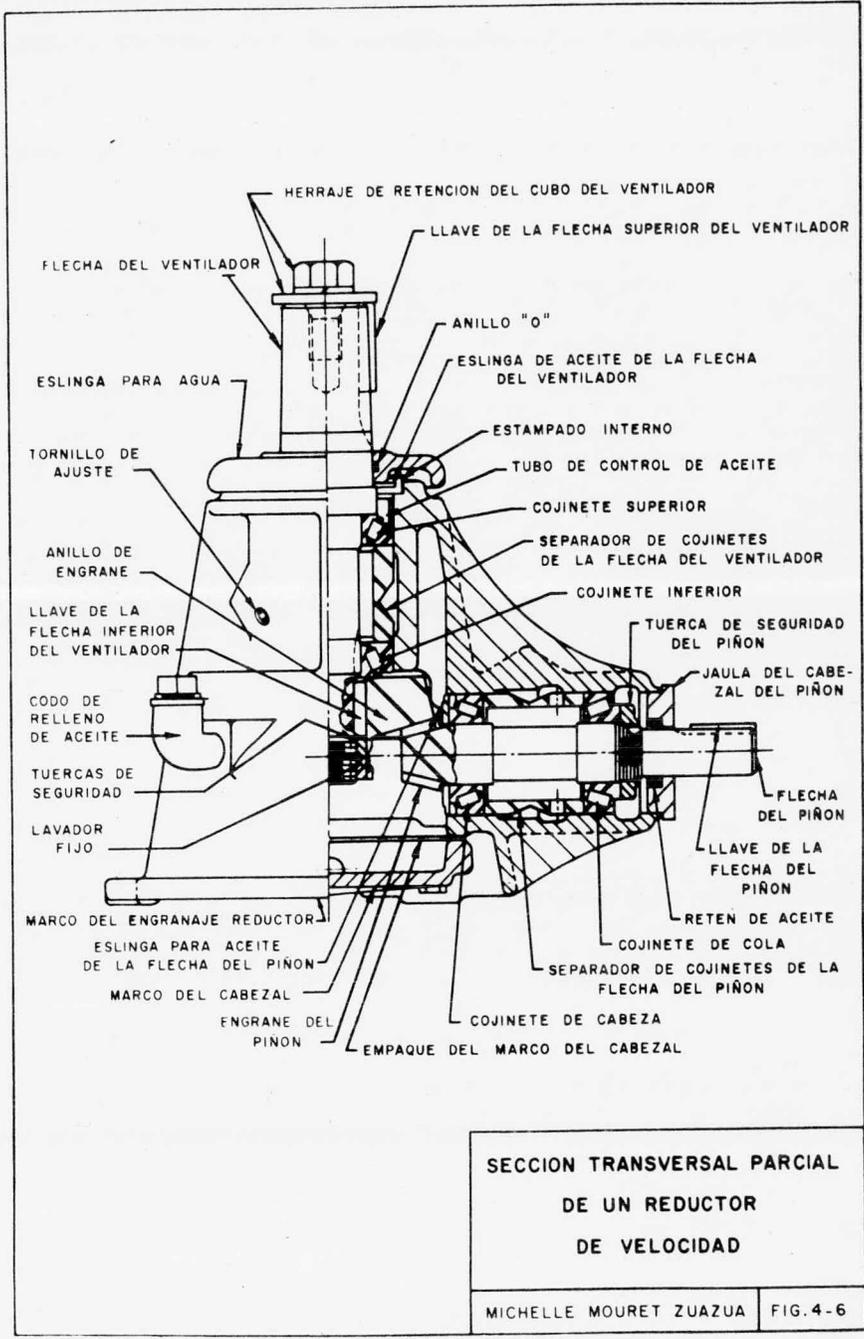
cho hojas, usándose diez hojas para ventiladores de treinta-pies.

Reductores de Velocidad.-

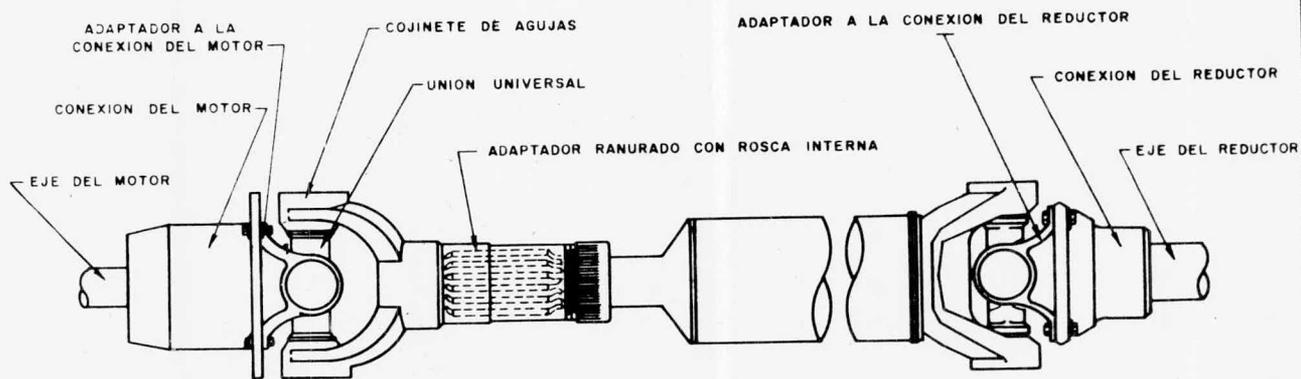
Figura (4-6). Cada ventilador debe montarse sobre una flecha paralela del reductor de velocidad de reducción simple diseñada especialmente para aplicación de torres de enfriamiento. El arreglo paralelo de la flecha permite que el motor se localice directamente al engrane del reductor, el cual permite ajustar la torsión de la flecha del motor a la requerida por el ventilador sin necesidad de usar flechas largas, cojinetes y soportes de acero.

Acoplamiento.-

Figura (4-7). Se debe conectar el motor al engrane del gusano con una unión flexible, es decir por una flecha tubular hueca mediante dos uniones universales, cojinetes de agujas y un árbol ranurado que compensa cualquier desalineamiento del eje motor o de la unidad reductora.



**SECCION TRANSVERSAL PARCIAL
 DE UN REDUCTOR
 DE VELOCIDAD**



SISTEMA DE UNION DEL MOTOR
CON EL REDUCTOR
DE VELOCIDAD

MICHELLE MOURET ZUAZUA FIG. 4-7

C A P I T U L O V

OPERACION Y MANTENIMIENTO.PREPARACION DE LAS TORRES PARA SU OPERACION.

Cuando una torre de enfriamiento es puesta en operación por primera vez o después de un largo período de estar fuera de servicio, deberá ésta limpiarse, inspeccionarse y lubricarse, según las siguientes indicaciones: (1)

1.- Limpiarse cualquier basura, hojas, tierra o materias extrañas, en el recipiente de distribución o de agua caliente, así como en el de agua fría y en las rejillas de entrada de aire.

2.- Limpiar el relleno y los recipientes de la torre y drenarla para eliminar todos los escombros.

3.- Engrasar el motor si éste así lo requiere de acuerdo con las especificaciones del fabricante del motor.

4.- Probar la resistencia del aislante del motor, para comprobar que no existan humedades.

(1) Manual de Operación de Torres de Enfriamiento de Marley.

5.- Engrasar la chumacera de la transmisión si ésta es por bandas "V"; con grasa a base de litio, para evitar el óxido y la corrosión.

6.- Checar las bandas "V", si tiene transmisión a base de bandas: tanto de alineamiento, como la tensión correcta en las mismas.

7.- Checar el aceite del reductor tomando una muestra del mismo para examinar si no existe lodo o agua; en caso de que existan, drénese y soplese para cambiar por aceite nuevo o agréguese aceite si el nivel es bajo y no existe ni humedad ni lodo.

8.- Inspeccionar los coples de las flechas de transmisión y su alineamiento.

Todos sus tornillos deberán estar completamente fijos.

9.- Checar que el ventilador tenga su claro adecuado entre las puntas de los extremos de sus aspas y el cilindro.

Este claro debe ser de un mínimo de 1/4" (6.5 mm.) y que su movimiento de rotación sea completamente libre.

Por último checar que la inclinación de las aspas (An^gulo de paso) del ventilador sea la misma en todas y que estén completamente fijas.

10.- Checar que la válvula de flotador para el control del agua de repuesto, esté correctamente instalada y que pueda cooperar libremente.



QUIMICA

PUESTA EN MARCHA O ARRANQUE DE LAS TORRES. LLENADO DE AGUA DEL SISTEMA.

1) Llenar el recipiente de agua fría, así como toda la tubería del sistema hasta alcanzar el nivel requerido de operación.

2) Ajustar la válvula de flotador para mantener el nivel de agua requerido y llenar hasta el nivel de sobre flujo.

3) Abrir la válvula del agua caliente (agua de retorno del sistema de la torre); cebar y arrancar la bomba de recirculación del sistema. La altura del nivel del agua en el recipiente de agua caliente debe ser entre 1" a 5" (2.5 cm. a 12.5 cm).

ARRANQUE DEL VENTILADOR.

El ventilador debe girar en el sentido de las manecillas del reloj visto de su parte superior o de descarga del aire. Las flechas direccionales sobre las aspas del ventilador indican también su correcto sentido de rotación. Si el ventilador opera con vibración considerable, checar si las aspas han sido instaladas en su lugar y soporte apropiado, así como si todas tienen el mismo ángulo de paso. Las vibraciones en la torre generalmente disminuyen cuando ha sido operada por un día, después que la madera de la torre se ha humedecido completamente.

Si la potencia del motor no está de acuerdo con la especificada o contratada, ajústense el ángulo de paso de las-
aspas del ventilador.

OPERACION DE LAS TORRES.

OPERACION DE LOS VENTILADORES.

Si para mover los ventiladores se emplean motores de-
dos velocidades, es necesario instalar un relevador de tiem-
po de un mínimo de 20 segundos, después de desenergizarse el
embobinado de alta velocidad y antes de energizarse el de ba
ja velocidad debido a los grandes esfuerzos producidos en el
equipo por cambios de velocidad; dicho relevador no será ne-
cesario si el motor está capacitado para disminuir su veloci-
dad hasta muy cerca de la baja velocidad antes que el embobi-
nado de éste se energise. Cuando sea necesario cambiar de di
rección de rotación al ventilador será necesario instalar un
relevador de tiempo de un mínimo de 2 minutos antes de ener-
gizarse el motor nuevamente.

RECIPIENTES DE DISTRIBUCION DEL AGUA CALIENTE.

Para obte-ner la máxima capacidad de las torres es ne
cesario mantener igual flujo y distribución de agua en los -
recipientes de todas las celdas de la torre. Si todos los o
rificios de medición o distribución están limpios y en su lu-
gar y con una columna de agua igual (de 1" a 5") en todos-

los recipientes esto indicará una distribución uniforme.

Los orificios de medición o distribución pueden ser limpiados, sin poner fuera de servicio la torre. Es decir recoger los escombros, tierra, algas, hojas, etc., los cuales caen al recipiente y por el movimiento del agua van a parar a los orificios. Los orificios deberán mantenerse en su lugar para asegurar una buena distribución.

Si se desea hacer algún cambio en un aumento de flujo de agua, será necesario cambiar el tamaño de los orificios de distribución para prevenir y mantener una columna de agua de 1" a 5" como se dijo anteriormente, así como una buena distribución, siempre y cuando el diseño de la torre aún lo permita.

RECIPIENTES DE COLECCION DEL AGUA FRIA.

Para obtener los mejores resultados en los recipientes de madera de las torres, es necesario humedecer la madera del recipiente desde unos días antes de poner en operación la torre, con el objeto de que al hincharse se cierre y apriete para evitar las fugas de agua al llenar para poner en operación la torre. Si aún después de varios días existen fugas será necesario sellarlas con Marmastic y pábilo.

Las fugas en recipientes de acero galvanizado casi siempre se deben a que están los tornillos flojos en las juntas-

por lo cual éstas pueden ser controladas, apretando o aflojando los tornillos, para limpiar y volver a sellar con Marmastic a donde sea necesario.

El nivel del agua en los recipientes de agua fría, deberá ser checado diariamente. Inspecciónense las mallas de succión del cárcamo cada semana, limpiando todos los escombros, lodos, etc. Las torres deberán tener su válvula de flotador para el control del nivel de agua adecuado o seleccionado.

El nivel normal de operación del agua en estos recipientes, de madera o acero, es de 5" (12.5 cm.) arriba del fondo de los mismos (pero este puede variar de 4" a 8"). Las torres que operan con este tipo de recipientes, sufren una depresión en el nivel de agua en el centro, operando con 1" a 3" abajo del relleno. Se deberá por lo tanto mantener un nivel de agua lo más cerca posible del relleno para prevenir la entrada de aire por lugares inadecuados que produzcan deficiencia en la torre, pero no tan alto que vaya a derramarse cuando la torre se ponga fuera de operación.

Las torres que operan con recipientes de concreto pueden operar con un nivel de agua de 1" a 6" (2.5 a 15 cm.) - abajo del reloj, pero será absolutamente necesario el uso de deflectores o mamparas desde el nivel inferior del relleno hasta el nivel del agua, para evitar que el aire circule por-

fuera del relleno.

AGUA DE REPUESTO Y PURGA CONTINUA.

La cantidad de " agua de Repuesto " necesaria para mantener el nivel adecuado o deseado de operación en los recipientes de colección de agua fría, depende de las " Pérdidas por Evaporación ", " Pérdidas de Arrastre " y la " Purga Continua ". La cantidad de agua de repuesto es de $2 \frac{1}{2} \%$ -- del agua de recirculación en la torre.

OPERACION EN INVIERNO.-

Las torres que operan en lugares o zonas con temperaturas bajo cero, deberán ser equipadas con motores de dos velocidades e interruptores reversibles. Este equipo no únicamente reduce el consumo de energía, sino que también proporciona un control positivo sobre la formación de hielo.

La formación de hielo puede ser reducida y controlada de la siguiente manera:

1.- Operar los ventiladores a baja velocidad hacia adelante. Esto reduce el rango de enfriamiento en la torre y aumenta la cantidad de agua caliente sobre las persianas de entrada de aire.

2.- Poner fuera de servicio los ventiladores. Esto reduce a un mínimo el rango de enfriamiento y aumenta la canti

dad de agua caliente sobre las persianas de entrada de aire a un máximo.

3.- Operar los ventiladores en reversa. Esta operación calienta el aire que sale a través de las persianas, derretiendo, cualquier acumulación de hielo.

La operación en reversa puede ser a plena velocidad o baja velocidad, sin embargo, se recomienda usar la velocidad alta. La operación de reversa en los ventiladores debe usarse únicamente para eliminar el hielo y no para prevenir su formación.

Durante la operación de reversa en los ventiladores, puede formarse hielo en el claro de las aspas del ventilador y el cilindro o en el mismo cilindro, lo cual produciría ruptura del ventilador y cilindro; por esta razón deberá evitarse una operación prolongada de reversa en el ventilador. Esta formación de hielo, se evitaría si la operación de reversa no excede de 20 a 30 minutos.

OPERACION INTERMITENTE EN INVIERNO.

Cuando las torres de enfriamiento son operadas intermitentemente durante el invierno, es necesario drenar el agua de todas las tuberías y del recipiente de la torre para proteger éstas de la congelación o de alguna ruptura de las tuberías en las zonas donde la temperatura llegue a estar bajo

cero. Todos los drenajes del recipiente de la torre deberán permanecer abiertos durante todo el tiempo que la torre esté fuera de servicio, para permitir a la lluvia y la nieve cuando se derrite, drenarse.

Si la torre equipada con medidor de nivel de aceite y líneas de drenaje, el condensado de los reductores podrá ser drenado por éstos.

La máxima capacidad y vida en servicio de las torres depende del mantenimiento e inspecciones de todas las partes de ésta y de sus sistemas de alimentación. En casi todos los casos, una inspección general de la torre diariamente será suficiente. El programa de inspección indicando en la tabla 1 puede ser usado por el operador para obtener una buena capacidad en la torre continuamente con un mínimo de mantenimiento.

ESTRUCTURA DE LA TORRE.

Checar que todos los tornillos de la estructura de maderas estén apretados.

En las torres que operan en ciertas épocas del año únicamente, se deberá checar que los tornillos estén apretados después que se haya hinchado por completo la madera, en cada arranque.

Los tornillos en el equipo mecánico y en sus sopor---tes deben recibir una especial atención. Checar la madera anualmente para indicaciones sobre su deterioración.

RELLENO DE MADERA.

El relleno de madera debe mantenerse a nivel y limpio pues de esta manera es muy fácil prevenir el depósito de lodos, escombros, etc.

Todo el relleno debe estar instalado correctamente, - es decir, todas las hileras estarán a nivel y todos los miembros deberán estar en su lugar para garantizar la capacidad en la torre o sea que, para obtener la máxima eficiencia, deben seguirse tales instrucciones.

LUBRICACION DEL MOTOR.

La lubricación y mantenimiento de cada motor eléctrico, deberá ser de acuerdo con las instrucciones dadas por el fabricante.

CHUMACERAS.

Engrasar las chumaceras antes de poner en operación-- la torre y después engrásese cada 170 horas de operación por lo menos una vez mensualmente. (Usese grasa No. 2 a base de litio con inhibidor contra la oxidación).

Siempre que la torre lleve transmisión por Bandas "V"

BANDAS "V"

Si la transmisión es hecha a base de bandas "V"; cheque la tensión de las bandas después de las primeras 8 horas de trabajo y después semanalmente; también chequear si no se han desgarrado.

REDUCTORES.

Checar el nivel de aceite semanalmente y probar mensualmente si el aceite no contiene sedimentos o agua.

FLECHAS DE TRANSMISION.

Checar el alineamiento de la flecha, el apriete de los tornillos y las condiciones de los coples cada seis meses.

VENTILADORES.

Checar la operación del ventilador diariamente y limpiar las aspas cada vez que sea necesario.

PROTECCION ANTICORROSIVA.

Todas las partes metálicas sujetas a corrosión debenser limpiadas y pintadas periódicamente con pinturas anticorrosivas. Son recomendables pinturas a base de resinas plásticas. El período entre pintada y pintada depende de las condiciones climatológicas del lugar y del ciclo de operación.

Toda la madera de la torre no requiere protección con

tra el tiempo pues está fabricada y tratada para ese objeto, sin embargo, en algunos casos puede ser pintada sólo por apriencia. Puede emplearse cualquier pintura de buena calidad-para exteriores.

TABLA V-1

PROGRAMA DE INSPECCION Y MANTE
NIMIENTO.

Recomendaciones Generales.

(Es recomendable mayor frecuencia de Inspección y Mantenimiento de las indicadas).

	VENTILADOR	MOTOR	FLECHA DE TRANSMISION	REDUCTOR	ELIMINADORES	RELLENO	RECIPIENTE DE AGUA FRIA	MIEMBROS ESTRUCTURALES	CUBIERTAS DE ASBESTO	VALVULA DE FLOTADOR	MALLAS DE SUCCION	BANDAS "V"	CHUMACERA
1.- Inspección de Atascamiento.							S				S		
2.- Checar vibraciones y ruidos extraños.	D	D	D	D				A				D	D
3.- Inspección de cuñas y cuñeros.		S	S	S	M								
4.- Checar que las ventilas estén abiertas.					M								
5.- Lubricación		T											M
6.- Checar tensión en las bandas.												S	
7.- Checar sellos de aceite.				SM									
8.- Checar nivel de aceite.				S									
9.- Checar sedimentos y agua en el aceite.					M								
10.- Cambio de Aceite				SM									
11.- Checar nivel del agua.							D	D					
12.- Checar fugas de Agua.								SM		SM			
13.- Inspección de las condiciones generales.				SM	A	A	A	SM	A	A			M
14.- Checar apriete de tornillos.	S	M	S	M	S			A	A	N			SM
15.- Limpieza.	N	SM	N	N	N	N	SM	N			N	S	N
16.- Pintura.	N	N	N	N						N			N

D- Diario; S- semanal; M- mensual; T-trimestral; SM- semes--
tral; A- anual; N- cuando sea necesario + Unicamente cuando-
lleve transmisión por Bandas "V".

ESPUMA.

La aparición de espuma se forma en ciertas condicio--
nes del agua cuando una torre nueva es puesta en operación.

La situación no es constante por largo tiempo y la es
puma puede disminuir aumentando la cantidad de agua por la -
purga continua hasta que la situación sea controlada. Si el-
aumentar la purga continua , no desaparece la espuma lo sufi
ciente como para eliminarla, se deberá usar un eliminador --
químico de espumas. Estos generalmente se consiguen en compa
ñías químicas y en algunas compañías de Tratamientos de Agua.

DECOLORACION DEL AGUA.

La decoloración al igual que la espuma son condicio--
nes que se desarrollan cuando una torre nueva es puesta en o
peración. No producen ningún daño en sistemas de recircula--
ción abiertos. Sin embargo, si la decoloración es objetable-
puede disminuirse también aumentando la cantidad de agua por
la purga continua o puede vaciarse de agua completamente el-
sistema y llenarse una o dos veces más después del arranque-
inicial de la torre; pueden usarse Agentes blanqueadores co-
merciales pero con mucho cuidado, para evitar daños al siste
ma.

REFACCIONES.

Para evitar paros prolongados en caso de destrucción del equipo mecánico, se sugiere mantener en almacén de la planta las siguientes refacciones:

- 1.- Ventilador.
- 2.- Un reductor de velocidad (o chumacera si la transmisión es por bandas "V").
- 3.- Una flecha de transmisión (o un juego de bandas "V" y poleas).

Cuando se ordenen partes de repuesto menciónense siempre el modelo y número de serie de la torre:

NOTA: Los manuales deberán proporcionarse conjuntamente con el equipo por la compañía que vende la torre de enfriamiento.

TABLA V-2.

ANALISIS DE LOS PROBLEMAS EN LAS TORRES, SUS CAUSAS Y SOLUCION.

PROBLEMA	CAUSA	SOLUCION.
Excesivo chorreo de agua a través del relleno.	Distribución defec <u>t</u> uosa del agua.	1.- Revisar que todas las persianas de entrada de aire, secciones de eliminadores o tablillas del relleno de los mismos y que los separadores del relleno estén en su lugar.
		2.- Que los distribuidores y las tablillas del relleno estén intactos y a nivel. Para evitar la tendencia a canalizar el agua.
		3.- Que los orificios de plástico de medición o distribución el recipiente del agua caliente estén en su lugar y limpios de cualquier clase de desperdicios.
		4.- Que no existan fugas por abajo de las alfardas del recipiente de distribución o de agua caliente.
La torre no enfría lo suficiente.	Exceso de bombeo o de flujo de agua.	Reducir el flujo de agua en la torre a las condiciones de diseño o cambiar los orificios a mayor medida.
	Exceso de bombeo.	Reducir el flujo de agua a las condiciones de diseño.
	Relleno desnivelado.	Revisar con un nivel de mano tipo carpintero que el relleno esté a nivel transversal y longitudinalmente. Si es necesario habrá que nivelarlo.
	Insuficiente flujo de aire.	Revisar que la potencia del motor sea la de diseño, midiendo la corriente y el voltaje, con un voltímetro. Limpiar de algas, fango y desperdicios el relleno y los eliminadores.
Ruidos extraños del motor.	El motor operando en una fase.	Parar el motor e intentar ponerlo en operación nuevamente. El motor no deberá operar con una fase. Revisar el alambrado controles y motor.
	Desequilibrio eléctrico.	Revisar el voltaje y corrientes en las tres fases. Corregirlas si es necesario.
	Baleros en malas condiciones.	Revisar su lubricación. Reemplazar los que estén en malas condiciones.
	Motor sobrecargado, voltaje incorrecto o desbalanceado.	Revisar el voltaje y la corriente de las tres fases para comparar con los datos de placa.
	Exceso de grasa en los baleros.	Quitar los tapones de las cajas de los baleros y operar el motor para eliminar el exceso de grasa. Reinstalar los tapones en su lugar.
	Excesiva tensión de bandas.	Reducir la tensión y revisar las bandas y alinearlas.
	Ventilación pobre.	Limpiar el motor y revisar las entradas de aire.
	Grasa lubricante inadecuada.	Cambiar a la grasa adecuada. Ver instrucciones de lubricación del fabricante del motor.
	Falla en los devanados.	Revisar con el óhmetro.

PROBLEMA	CAUSA	SOLUCION.
Ruidos en el reductor.	Aceite de lubricación sucio.	Drenar y soplar con un aceite ligero. Seleccionar el aceite para el soplado de acuerdo con un fabricante de lubricante y emplear el adecuado al tipo de lubricantes usado. Drenar y lubricar. Ver manual de Servicio del Reductor.
	Baleros en malas condiciones.	Si son nuevos, ver si el ruido desaparece después de una semana de operación. Drenar, soplar y poner aceite nuevamente al reductor. Ver manual de Servicio del Reductor. Si aún persiste el ruido reemplazarlos.
Ruido en el ventilador.	Tornillos flojos en el cilindro del ventilador.	Revisarlos y apretarlos si es necesario.
Juegos de las bandas.	Bandas demasiado flojas.	Ajustar por medio de los templadores.
	Poleas desalineadas.	Ver manual de Servicios de Bandas -- " V ".
Vibraciones anormales en el equipo mecánico.	Tornillos flojos.	Revisense y aprietense todos los tornillos del equipo mecánico.
	Flecha de transmisión desbalanceada.	Revisar que los coples de las flechas en el motor y reductor coincidan con sus marcas en el cuerpo de la flecha y que estén propiamente alineada. Rebalanceese la flecha agregando o eliminando pesos de los tornillos de balanceo.
Vibraciones anormales en el equipo mecánico.	Ventilador desbalanceado.	Revisar que las aspas estén en su lugar apropiado, revisando que coincidan los números de las aspas con los soportes en la masa del ventilador y que estén completamente a tope los mangos de las mismas. Revisar que todas tengan el mismo ángulo de paso.
	Calentamiento en los baleros del reductor.	Revisar el juego entre los engranes de la flecha de entrada y salida del reductor.
	Motor desbalanceado.	Desacoplar el motor y operarlo en vacío. Si el motor aún vibra rebalancear el motor o reemplazarlo.
	Calentamiento en las cajas de los baleros.	Revisar los baleros y los tornillos de montaje.
	Flechas flexionadas.	Revisar que las flechas del motor y reductor estén derechas y propiamente alineadas.
	Bandas "V"	Las bandas deberán estar con su tensión correcta. Ver manual de Servicios para Transmisiones por bandas "V".
	Escama de Óxido o incrustaciones y sustancias extrañas en el sistema de agua.	Carencia de o Purga Continua insuficiente.
Deterioración en la m <u>a</u> dera.	Tratamiento de Agua.	Consultar a una firma seria especializada en Tratamiento de agua.
	Tratamiento de Agua inadecuada o ataque microbiológico.	Consultar a la Compañía que vendió el equipo.

INSTRUCCIONES PARA PONER FUERA DE OPERACION LAS TORRES POR E
POCA DEL AÑO.

RECIPIENTES Y ESTRUCTURA.

Drenar los recipientes de la torre y toda la tubería--
expuesta a la interperie. Déjese el drenaje del recipiente a
bierto. El agua puede permanecer en el recipiente de agua --
fría, si la torre no está instalada en áreas con temperatu--
ras en el invierno bajo cero (en caso de sacarla de servi--
cio en este época.).

Durante el tiempo que esté fuera de operación la tor--
re limpiarla y reparar las partes que lo requieran. Aplíquen
se una capa protectora de pintura si es necesario a todas --
las partes metálicas. Debe sarse particular atención a los -
soportes del equipo mecánico, flechas de transmisión y sus -
rprotectores.

Inspeccionar visualmente el deterioro de la madera y--
probar sus miembros por sonidos huecos, por medio de un mar--
tillo tipo piolet o algún instrumento similar.

Protéjase la torre contra el fuego.

Si la torre tiene protección contra incendio humedéz--
case continuamente; no debe humedecerse y secarse alternati--

mente, pues es destructivo para la madera.

EQUIPO MECANICO.

VALVULAS DE CONTROL DE FLUJO.

Engrasar el usillo de operación de la válvula, con grasa a base de litio y manténgase abierta.

REDUCTORES.

1.- Para poner fuera de operación la torre, operar el reductor hasta que se caliente el aceite, a fin de drenarlo y cambiarlo.

2.- Cada mes, drenar el agua condensada en el reductor y sistema de aceite. Revisar el nivel de aceite y agregar si es necesario. Operar el equipo 10 a 15 minutos para bañar todas las partes interiores con aceite.

3.- Al poner en operación nuevamente la torre, es necesario esperar a que se caliente el aceite del reductor, para cambiarlo.

MOTORES ELECTRICOS.

No se pondrá en marcha el motor, hasta no asegurarse de que no hay ningún obstáculo que interfiera al movimiento de rotación del equipo.

Los motores están equipados con baleros prelubricados y será necesario consultar al fabricante del motor para las instrucciones de lubricación y mantenimiento.

C A P I T U L O V I .

ANALISIS DE LAS VARIABLES INVOLUCRADAS EN EL CASO DE LA PLAN
TA DE ESTEROIDES.

El agua a recuperar de la planta de hormonas esteroides BEISA (Beneficiadora e Industrializadora, S. A.) proviene de los diferentes equipos localizados en el área de extracción de la planta, ésta consta de cuatro diferentes áreas de proceso, y que son las siguientes:

a) Edificio 1: En donde se llevan a cabo los siguientes procesos: hidrólisis de la raíz, isomerización de la diosgenina, una oxidación, una pirólisis y una recristalización.

b) El área de extracción: donde se lleva a cabo la extracción de la diosgenina.

c) El área de hidrogenación.

d) El Edificio 2: Donde se llevan a cabo los procesos de purificación, hidroxilación, acetoxilación oxidación, cristalización y purificación.

Considerando que el volúmen más fuerte de agua proviene

ne del area de extracción y que en relación a este volúmen-- los demás se pueden despreciar, se limitó el cálculo de la - torre al gasto volúmetrico de esta sección.

Los deferentes equipos que se encuentran en el área - de extracción son los siguientes. (Figura 6-1).

- 2 extractores (2 condensadores interiores).
- 1 cristalizador (condensador interior).
- 1 recuperador de aguas madres.
- 2 bombas de vacío.
- 2 cambiadores de calor exteriores.
- 2 estufas (secadores de raíz).
- 9 filtros del cristalizador.
- 2 tanques de lavado.
- 2 tanques de mezcla.
- 2 tanques de almacén de gasolina.
- 1 filtro Sparkley para bombear extracto.

De todos estos, los únicos equipos que aportan agua-- caliente para la torre son los siguientes:

- 1) Bomba de vacío.
- 2) Bomba 2 de vacío.
- 3) Condensador Interior del Extractor 1.
- 4) Condensador Exterior del Extractor 1.
- 5) Recuperador de Aguas Madres.
- 6) Condensador Exterior del Extractor 2.

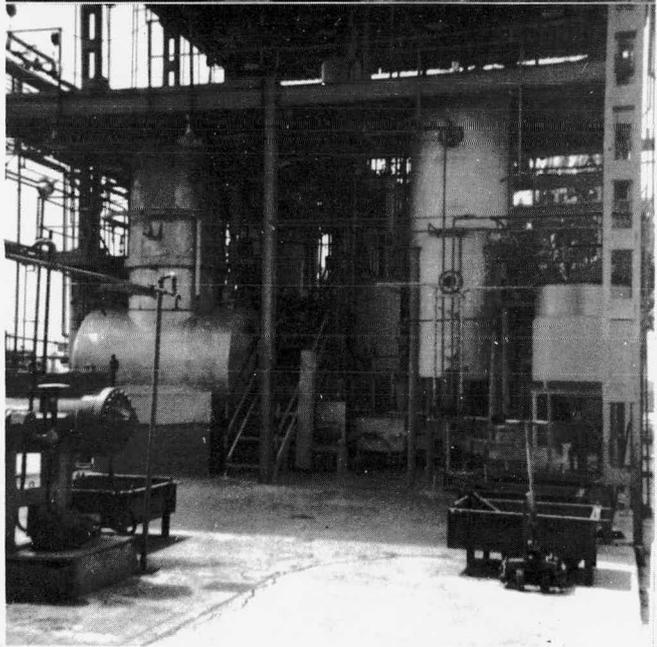
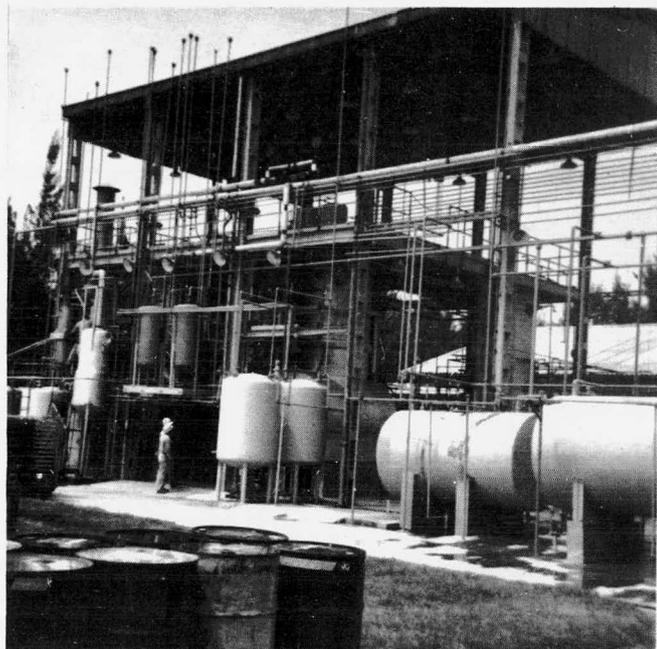


FIG. 61

Area de Extracción de la Planta.

7) Cristalizador.

8) Condensador Interior del Extractor 2.

Una vez localizados los ramales terminales correspondientes a este equipo en la tubería que llega al drenaje se procedió a efectuar un análisis de diferentes corridas de -- temperaturas, es decir, se tomaron las diferentes temperaturas del agua caliente que sale de cada equipo a diferentes - horas del día usando un termómetro marca Taylor de 12 pulgadas de largo, con una escala de 20°C a + 150°C. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla (5-1). En seguida se sacó un promedio aritmético de los datos, obteniendo una temperatura promedio para el agua caliente que sale de cada e-- quipo a lo largo del día.

TABLA V-1.

CORRIDAS DE T CALIENTES DE LOS DIFERENTES EQUIPOS DEL AREA DE EXTRACCION EN °C.

	1a. CORRIDA	2a. CORRIDA	3a. CORRIDA	4a. CORRIDA	PROMEDIO	
1) BOMBA	27	27	26	27	27	80.6°F
2) BOMBA	27	27	26	27	27	80.6°F
3) Cond. Int. 1	35	35	35	35	35	95.0°F
4) Cond. Ext. 1	50	48	49	51	49.5	121.10°F
5) Recup. de Aguas Madres.	38	39	38	39	38.5	101.4°F
6) Cond. Ext. 2	35	46	44	41	41.5	106.7°F
7) Cristalizador.	38	39	37	36	37.5	128.85°F
8) Cond. Int. 2	48	35	37	35	38.75	101.75°F

Dado que todos estos ramales se van a unir en uno sólo para constituir la alimentación a la torre, se tomó una vez más el promedio de todos ellos para determinar la temperatura final del agua caliente que entraría a la torre, escog_uendiéndose entonces 100°F.

El paso siguiente fué investigar la temperatura de bulbo húmedo del lugar, para lo cual tuvo que recurrirse al Departamento de Servicios Meteorológicos de Tacubaya, el cual proporcionó los siguientes datos a partir del mes de julio de 1974.

TABLA V-2

REMPERATURAS DE BULBO HUMEDO.

DATOS DEL DEPARTAMENTO DE SERVICIOS METEOROLOGICOS DE TACUBAYA.

1974	T °C	T °F.
Julio	23.9	74
Agosto	23	70
Septiembre	20.6	69
Octubre	19.5	67
Noviembre	15.6	60
Diciembre	14.5	58

1975	T °C	T °F
Enero	15	59
Febrero	11.2	52
Marzo.	7.3	45

Para escoger la temperatura de bulbo húmedo de trabajo se recomienda elegir aquella que sea el 95% de la twb más alta registrada. Esto se debe a que conviene basar los cálculos de diseño para dar un margen de seguridad sobre las más altas temperaturas que puedan presentarse en el lugar donde se localice la planta. Si por ejemplo la temperatura a elegir fuera la promedio y se diseñara la torre con este dato, podría darse el caso de que en los meses de verano, el agua fría de la torre estuviera varios grados arriba de los esperados, esta agua al recircularse a los diferentes equipos no enfriaría con la misma eficiencia produciendo alteraciones en las demás operaciones del proceso.

No se escoge la temperatura más alta pues casi nunca se presenta y el equipo quedaría muy sobrediseñado.

Así pues se obtiene la twb como sigue:

$$74^{\circ}\text{F} - 100\%$$

$$X = 69.30^{\circ}\text{F}$$

$$X - 95\%$$

tomándose entonces $t_{wb} = 70^{\circ}\text{F}$

Se procedió a calcular entonces el gasto volumétrico-total del agua del área de extracción.

Como los equipos no trabajan constantemente sino de acuerdo al ciclo de extracción que menciono más adelante, se pensó hacer un diagrama en el cual se pudiera observar claramente cual era el momento adecuado para medir flujos de agua y temperaturas de la misma.

El ciclo de trabajo es el siguiente:

- 1.- Se carga la raíz hidrolizada al extractor 1 - 1 hr.
- 2.- Se estabiliza la temperatura en el extractor 1 - 2 hr.
- 3.- Se lleva a cabo la primera extracción en el extractor-1 - 20 hr.
- 4.- Se efectúa la concentración en el mismo - 2 hr.
- 5.- Empieza el bombeo al cristalizador (filtrado) - 1 1/2 hr.
- 6.- Casi al mismo tiempo con 1/2 hora de retraso empieza a trabajar el cristalizador por 5 hr.
- 7.- A las 17 hr. de haber empezado la primera extracción-empieza a trabajar el recuperador de aguas madres - - 12 hr.
- 8.- Al terminar la cristalización se conectan las bombas-de vacío durante 6 hr.
- 9.- Al terminar el bombeo se estabiliza la segunda extracción en el extractor 1 - 2 hr.
- 10.- Se lleva a cabo la recuperación del solvente en el extractor 1 - 4hr.

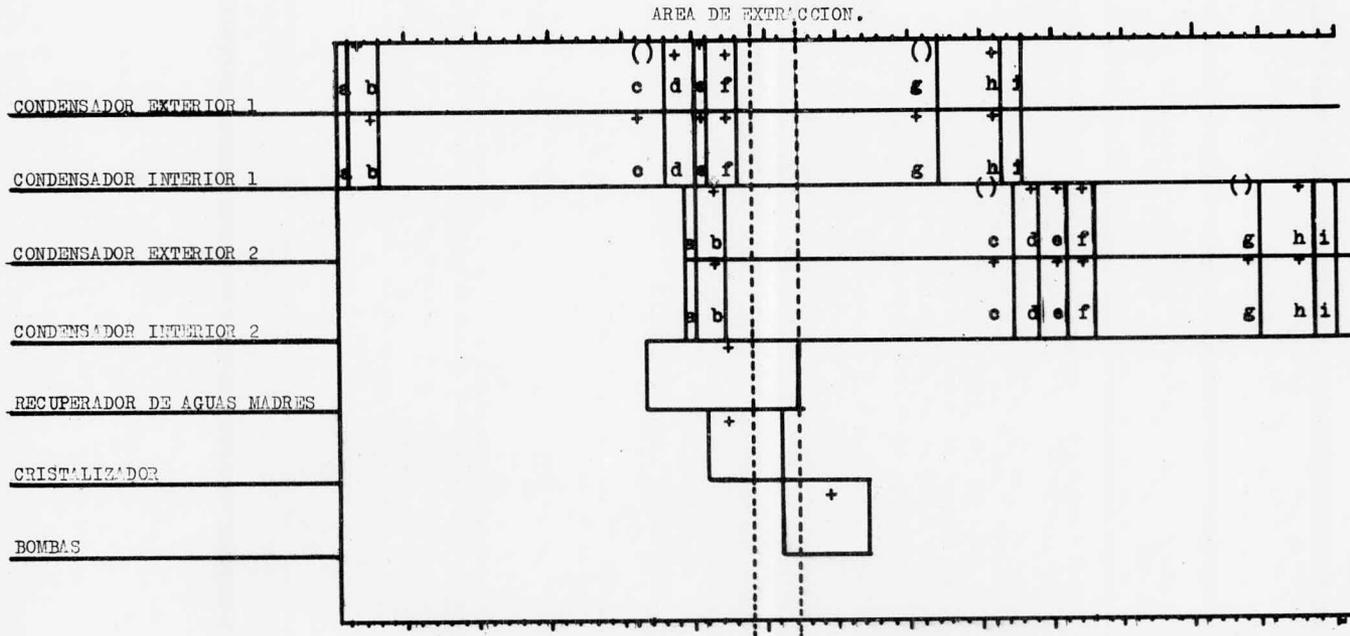
- 11.- Empieza el lavado y la descarga del extractor 1 - -
1 1/2 hr.
- 12.- Se sigue el mismo ciclo para el extractor 2 con 1 des
fasamiento de 24 hr. con respecto al ciclo del extrac
tor 1.

Debe hacerse notar que durante los períodos de extrac
ción las válvulas de los condensadores exteriores trabajan -
parcialmente abiertas, mientras que las de los condensadores
interiores se encuentran totalmente abiertos.

El diagrama 1 muestra claramente que a las 30 hr. de-
haber empezado la primera extracción, todos los equipos es--
tán funcionando al mismo tiempo durante un rango aproximada-
mente 3 hr. Se eligió ese rango como el definitivo para lle-
var a cabo las mediciones de flujo del agua. Esto se debe a-
que la torre no puede diseñarse para un gasto menor de agua-
del que maneja en determinado momento, aunque éste sea muy -
pequeño, por las razones expuestas anteriormente.

Una vez decidido ésto se procedió a la toma de datos,
para lo cual se utilizó un tanque de 204 l. de capacidad y -
un cronómetro, midiendo el tiempo que tardaba en llenarse el
tanque con cada uno de los ramales provenientes de los equi-
pos antes mencionados se obtienen las siguientes tablas.

FIG. 5-1. CICLO DE TRABAJO DE LOS EQUIPOS INTEGRANTES DEL AREA



+ -Válvula completamente abierta.

() Válvula parcialmente abierta.

- a - Carga
- b - Estabilización de temperatura
- c - Primera extracción
- d - Concentración
- e - Bombeo y escurrimiento
- f - Estabilización de la segunda extracción
- g - Segunda extracción
- h - Recuperación del solvente
- i - Lavado y descarga

TABLA 5-4 A

CORRIDAS DE TIEMPO PARA LOS DIFERENTES EQUIPOS DEL AREA DE EXTRACCION.

EQUIPO	T	I	E	M	P	O
	1a. CORRIDA		2a. CORRIDA		3a. CORRIDA.	
1-2) Bombas	4 min 10 seg		4 min 12 seg		4 min 12 seg	
3) Cond. Int. 1	1 min 21 seg		1 min 20.5 seg		1 min 19 seg	
4) Cond. Ext. 1	1 min 5.5 seg		1 min 5.4 seg		1 min 5.5 seg	
5) Rec. de A. Madres	1 min 39 seg		1 min 39.5 seg		1 min 39 seg	
6) Cond. Ext. 2	1 min 5.4 seg		1 min 5.5 seg		1 min 5.6 seg	
7) Cristalizador	1 min 6 seg		1 min 3 seg		1 min 3 seg	
8) Cond. Int. 2	1 min 21.3seg		1 min 21 seg		1 min 21.5seg	

TABLA 5-4 B

CORRIDAS DE TIEMPO PARA LOS DIFERENTES EQUIPOS DEL AREA DE EXTRACCION.

EQUIPO *					
	1a. CORRIDA.	2a. CORRIDA	3a. CORRIDA	PROMEDIO	Gasto.
1-2)	4.17 min.	4.20 min.	4.20 min.	4.19 min.	48.69 l/min.
3)	1.35	1.347	1.316	1.338	152.47
4)	1.097	1.094	1.097	1.096	186.08
5)	1.65	1.66	1.65	1.65	123.29
6)	1.09	1.097	1.10	1.097	185.93
7)	1.10	1.05	1.05	1.066	191.24
8)	1.358	1.35	1.363	1.357	150.28

* CORRESPONDE AL EQUIPO DE LA TABLA ANTERIOR.

$$\begin{aligned} \text{Gasto total} &= 1037.98 \text{ l/min} = 274.20 \text{ gal/min} = 1.0379 \\ &\text{m}^3/\text{min} = 62.247 \text{ m}^3/\text{hr} = 1494.69 \text{ m}^3/\text{día}. \end{aligned}$$

Una vez obtenido el tiempo promedio por un sencillo cálculo se obtiene el gasto de cada ramal por minuto y así el gasto total al día que es el que manejará la torre de enfriamiento.

El gasto de agua en la planta descontando el área de extracción es de $92.3 \text{ m}^3/\text{día}$, así pues el gasto total de agua que consume la empresa es de $1587 \text{ m}^3/\text{día}$.

TRATAMIENTO DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO PARA CONTROL DE CORROSION.

La corrosión de los metales ferrosos en sistemas de distribución a través de los sistemas de agua de enfriamiento es un problema muy serio desde varios puntos de vista (1).

No solamente el reemplazo de la tubería es costoso, sino también el costo de reponer las líneas donadas o las paredes corroídas es muy alto. Los productos de corrosión reducen también la capacidad de las líneas, aumentan las resistencias friccionales y aumentan los costos de bombeo. El óxido de hierro formado por la acción corrosiva, ocupa un volumen a veces más grande que el ocupado por el metal original, bloqueando muchas veces la tubería completamente. El "Agua roja", debida a los productos de corrosión da una aparien--

(1) Betz. Handbook of Industrial Water Conditioning. 6a. Edición. Pennsylvania. (1962.).

cia indeseable al agua, pudiendo interferir con los procesos sensibles al fierro.

Algunas de las causas de corrosión que se define como la destrucción de un metal por una reacción química o electroquímica con sus alrededores. La fuerza derecha o tendencia a la corrosión procede y depende de la resistencia a la corrosión causada por los productos de la reacción de corrosión. En sistemas de agua, los factores son:

- 1.- La concentración de oxígeno disuelto.
- 2.- El contenido de dióxido de carbono.
- 3.- El pH y los sólidos disueltos.
- 4.- La presencia de ácidos disueltos.
- 5.- La presencia de ácidos mensales.
- 6.- Sulfuro de hidrógeno, etc.

Los inhibidores de corrosión más usados en la industria de sistemas de enfriamiento de agua son: polifosfonatos, aminodimetil fosfonatos, combinaciones de fosfatos y cromatos y la combinación de zinc, fosfatos y cromatos. En general, desde un punto de vista técnica, cualquiera de estos métodos de corrosión pueden usarse satisfactoriamente, sin embargo, la variable del costo del tratamiento, el cual muchas veces es tan alto, que es incosteable es la que en muchos casos decide cual es el que se va a emplear. Por ésta razón se ali-

mentan los inhibidores sólo en la cantidad suficiente para disminuir la corrosión severa y no para eliminarla completamente.

Después de efectuado el análisis del agua de pozo y-- que adjunto a éste estudio, fué necesario ponerse en contacto con una firma de tratamiento de aguas, la cual decidiría el tipo de tratamientos a seguir para obtener óptimos resultados. Se eligió el de aminodimetil fosfonato de zinc, en el cual se propone cargar 746 g. del fosfonato por día y un choque diario de cloro (1 p.p.m.) durante un hora y 15 días - con 1.4 g. de una sal cuaternaria de amonio, si se tiene una recirculación total de agua del 2.5% y una pérdida del 0.7%- equivalente a 6.25 galones de repuesto/minuto debido al arrastre de vapor.

Con la recopilación de todos estos datos se procedió a efectuar los cálculos correspondientes al diseño de la torre de enfriamiento que se exponen en el siguiente capítulo.

ANALISIS DE AGUA

MUESTRA DE AGUA DE: P-20

FECHA: 30/Ago/75

PARA ANALIZAR:

ALCALINIDAD "p"

ALCALINIDAD "m"

HIDROXIDOS

CARBONATOS

BICARBONATOS

DUREZA TOTAL

CLORUROS

POSFATOS

SILICE

SULFITOS

CONDUCTIVIDAD ESPECIFICA

p.H.

OBSERVACIONES :

ppm CaCO₃ : 0 0000 -

" " : 280

" " : —

" " : —

" " : 280

" " : 162

" Cl : 30

" PO₄ : —

" SiO₂ : 60-70

" SO₃ : 0-25

" μMHDS : 660

: 75026°C

ANALIZADO POR : [Signature]

FECHA: 30/Ago/1975

HORA: 16:11

[Signature]

C A P I T U L O V I I .

PROCESAMIENTO DE DATOS Y CALCULO DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO
DE AGUA DE TIRO INDUCIDO.

1) Modelo Matemático.

La torre de enfriamiento enfría agua caliente con aire frío a contracorriente (o flujo cruzado) de los dos flujos pasando a través de una torre llena de empaque. Esto implica una transferencia de calor y masa.

La superficie del agua existente sobre el empaque de la torre es cubierta por una capa de aire, el cual se asume saturado a la temperatura del agua.

El calor se transfiere entre esta capa y el cuerpo -- principal de aire por difusión y convección.

El empaque se distribuye de tal manera que provenga una caída en bloque desde lo alto de la torre. Al caer, choca con un miembro del empaque, salpica, forma una película, la cual resbala y cae para chocar con el siguiente miembro - del empaque.

La corriente de aire barre a través de estas gotas para enfriar el agua y humidificar el aire.

Al fluir el agua hacia abajo de la torre, su temperatura puede caer por debajo de la temperatura de bulbo seco - del aire de entrada a la torre. Nunca puede llegar más abajo que la temperatura de bulbo húmedo, de hecho, sólo se aproxima a ésta.

La fuerza directora para el enfriamiento es la diferencia de entalpías de la capa de aire envolvente y de la masa principal de aire.

El número de unidades de transferencia de la torre se basa en la transferencia total de masa y calor.

$$\int_{t_2}^{t_1} \frac{d_t}{H^* - H'} = K_a V / L' \quad (\text{Ec. 7-1})$$

J. F. Pritchard ha publicado en su libro "Counterflow Cooling Tower Performance" datos de torres de enfriamiento - graficados como $K_a V / L'$ vs. L' / G_a , indicando que el $K_a V / L'$ característico de la torre es función de L' / G y no solamente del valor de G_a .

El cálculo de esta torre se hizo en base al propuesto

por Ludwig, el cual a su vez es un resumen del método de Pritchard, ya que es el más comunmente usado por las compañías-productoras de torres de enfriamiento por ser de fácil aplicación y dar resultados satisfactorios, siendo muy alta su aproximación de las necesidades reales.

Tendremos entonces que la entalpia del aire en cualquier punto de la línea de operación:

$$H_2^{**} = H'_1 + (L'/G_a) (t_{L_2} - t_{L_1}') \quad (\text{Ec. 7-2})$$

la ecuación para la línea en las condiciones terminales es:

$$H_2' = H_1' + (L'/G_a) (t_{L_2} - t_{L_1}') \quad (\text{Ec. 7-3})$$

* Al examinar el diseño de la torre no es la temperatura del aire la que fija la capacidad, sino el contenido de calor o entalpia del aire. Aunque la temperatura del aire y la de bulbo húmedo a la entrada pueden ser diferentes para dos condiciones de entrada de aire diferentes, es posible -- que el aire tenga la misma entalpia. Así pues dos corrientes diferentes de aire pueden producir el mismo efecto en el diseño de la torre.

Estudios recientes indican que el diseño de los más comunmente usados para empaques comerciales puede correlacionarse por:

* H_1' = Entalpia del aire de entrada a la torre equivalente a la entalpia del aire saturado a t_{wb} (BTU/lbs.s.).

$$K_a V/L' = 0.07 + A' N' (L'/G_a)^{-n} \quad (\text{Ec. 7-4})$$

Esta ecuación relaciona las características de la torre al número de niveles de empaque en la torre con la relación L'/G_a .

Los valores de las constantes A' , n , B , C' y S_F de acuerdo al tipo de empaque escogido se encuentran en el libro de Kelly y Swenson (1).

La solución simultánea de la ecuación 7-3 involucrando el acercamiento y el rango de enfriamiento y la ecuación 7-4 involucrando el número de pisos de empaque (y por lo tanto la superficie necesaria) nos lleva a una relación de L'/G_a que satisfaga al diseño especificado. La precisión de estos datos combinados es del 5%. La ecuación 7-4 es una línea recta en un papel log-log, por lo que sólo se necesitan dos puntos para determinar su posición.

Area del piso vs altura.

El aspecto económico de la operación de torres de enfriamiento de tiro inducido o forzado requieren un estudio de los H.P. necesarios para el ventilador y la bomba y generalmente requieren una pérdida de presión estática que no exceda de .75 in H_2O . Para torres de tiro natural y atmosférico,

es importante también el aspecto económico del bombeo de
 (1) Kelly, N.W. y L.K. Swenson. "Comparative Performance of-Cooling Packing Arrangement", Chemical Engineering Prog. 52. p. 256. (1956).

agua. Esto significa que el área del suelo debe seleccionarse para mantener la altura lo menor posible sin que baje demasiado el goteo y el diseño resulte pobre.

Esto a su vez, es un balance del área de piso contra la altura total de empaque. Pritchard presenta en su libro - una curva estimada indicando que la altura de empaque varía de 12-40 ft, se sugiere desde un punto de vista económico -- que G_a sea de 2000-1400 respectivamente, siendo esta relación una función lineal.

Pérdidas de Presión.

+ Las pérdidas de presión en una torre son:

- 1.- Las debidas al empaque de la torre (70-80% de -- las pérdidas.)
- 2.- Entrada del aire si el tiro es inducido.
- 3.- Eliminadores de brisa.
- 4.- Pérdidas por cambio de la dirección del aire y en trada al empaque en unidades de tiro forzado.

Todas estas pérdidas son función de la velocidad del aire, número y espaciamiento entre los pisos del empaque, ve locidad del líquido y de la relación de L'/G_a .

La caída de presión para un número y tipo de plato de terminado se expresa según Kelly por:

$$\Delta P' = N' B G_a^2 \left(\frac{0.0675}{\rho G} \right) + N' C' \sqrt{S_F} (L) G_E^2 \left(\frac{0.675}{\rho G} \right)$$

(Ec. 7-5)

Los valores de G_E se toman de la gráfica de Valores - de masa velocidades equivalentes del aire (1), en la cual se grafican la masa velocidad del gas a contracorriente contra las pérdidas de presión del flujo masa de aire.

Las pérdidas por presión a través de los eliminadores de brisa de madera, basadas en 0.0675 lb/ft^3 de aire varían desde $0.01 \text{ in H}_2\text{O}$ a un $G_a = 800$ a 0.07 para $G_a = 200$ siguiendo una función lineal (2), según Pritchard.

Estas pérdidas se basan en el área de los eliminadores. Las pérdidas por presión de las persianas en 0.075 lb/ft^3 de aire están dadas como $0.02 \text{ in H}_2\text{O}$ para 400 ft/min de velocidad a $0.32 \text{ in H}_2\text{O}$ para 1600 ft/min , comportándose también como una línea recta.

H.P. del ventilador para una Torre de Tiro Mecánico.

$$\text{BHP} = F P_s / (6356) (0.050)$$

Esta relación incluye un 50% de eficiencia estática - del ventilador y pérdidas del engrane, asumiendo un engranaje impulsado (2).

(2) "Counterflow Cooling Tower Performance " J. F. Pritchard and Co. of California, Kansas City. (1957).

Los tamaños económicos de torres generalmente requieren para el ventilador entre 0.05 - 0.08 HP/ft² de área de piso (2) y los motores mayores de 75 HP no se usan debido a lo difícil que es obtener ventiladores y engranajes apropiados para el espacio requerido.

Velocidad del Agua y Distribución.

La distribución del agua debe proporcionar un flujo uniforme sobre el empaque de la torre. Muchas torres emplean un sistema de alimentación por boquillas de cerámica, metal o plástico.

Otros sistemas usan boquillas de descarga a presión - antes de caer el agua sobre el empaque. Este último método - necesita una mayor cabeza de bombeo debida a la presión requerida por las boquillas pulverizadoras.

La velocidad del agua generalmente varía de:

1 - 3.5 g p m/ft² de área de piso.

DISEÑO PARA INSTALAR UNA TORRE NUEVA.

1.- Se determinan la temperatura de entrada del agua caliente a la torre, se determina también la temperatura a la que se quiere enfriar el agua, estableciendo la temperatura de bulbo húmedo del aire de acuerdo a la localización geográfica de la torre.

GPM requeridos = 274.20

T agua caliente = 100 °F

T agua fría = 80 °F

% recirculacion = 2.5

T Búlbo húmedo = 70 °F

Acercamiento = 10 °F

1.- Rango = 100 - 80 = 20 °F

2.- La temperatura de bulbo húmedo debe corregirse ya que se considera una determinada recirculación.

3.- Resolviendo la ecuación (7-4):

$$K_a V/L' = 0.07 + AN (L'/G_a)^{-n}$$

Se selecciona el plato tipo A (1) con un espaciamiento vertical de 9 in y una distancia entre tablonces de 8", siendo los tablonces de 3/8" x 2". Esta selección se hizo en base a que el plato A es el más frecuentemente usado siendo fácil - su colocación . En base a esta elección y con la tabla previamente mencionada se obtienen las constantes:

$$A' = 0.060$$

$$n = 0.62$$

$$B = 0.34 \times 10^{-8}$$

$$C = 0.11 \times 10^{-12}$$

$$S_F = 3.00$$

en base al monograma del Ludwig (Fig. 9-74), que sirve para

calcular por una correlación empírica el factor $K_a V/L'$ con la temperatura de agua fría y la temperatura de bulbo húmedo obtengo $K_a V/L' = 1.5$, lo cual nos dá $N = 23.83$ niveles, supongo entonces:

$$N = 25 \text{ aproximadamente.}$$

$$N' = 25 \text{ pisos supuestos.}$$

Primeramente se supone un L'/G_a que debe estar en el rango 0.9-2.7 se escoge $L'/G_a = 1.00$

$$K_a V/L' = 0.07 + 0.060 (25) (1)^{-0.62}$$

$$K_a V/L' = 1.57$$

La segunda solución de la ecuación (7-4) para determinar la línea de la gráfica es:

se supone $L'/G = 2$ permaneciendo constantes los demás valores.

$$K_a V/L' = 0.07 + 0.060 (25) (2)^{-0.62}$$

$$K_a V/L' = 1.02$$

Con estos dos valores se traza una línea en la gráfica de $K_a V/L$ contra L'/G_a correspondiente al rango especificado y que anexo en este estudio.

Con una aproximación $- 80 - 70 = 10 \text{ }^\circ\text{F}$ en la intersección de la línea con la curva correspondiente a esta aproximación se observa que corresponde a:

$L'/G_a = 1.15$, el cual es el requerido para $t_{wb} = 70^\circ\text{F}$.

II.- Con la curva de saturación de aire-agua se obtiene la entalpia del aire a las t_{wb} .

4.- La entalpia del aire de salida:

$$H_2' = H_1' + (L'/G_a) (t_{L_2} - t_{L_1}).$$

$$H_1' = 31.6 \text{ Btu/lb aire seco.}$$

$$H_2' = 31.6 + (1.15)(100 - 80).$$

$$H_2' = 54.60 \text{ Btu/lb aire seco.}$$

Recirculación del 2.5%.

Para 2.5% de aire entrante recirculado del aire de salida, 97.5% viene de aire fresco.

Entalpia de aire recirculado = 54.60

Entalpia de aire fresco = 31.60

Entalpia promedio de la mezcla de aire de entrada.

$$\bar{H}_2 = 0.975 (31.6) + 0.025 (54.60)$$

$$\bar{H}_2' = 32.1750$$

Con la carta de humedad:

a $32.175 \frac{\text{BTU}}{\text{lb a.s.}}$ se les 71°F de t_{wb} .

por lo que el nuevo acercamiento será:

$$80 - 71 = 9^\circ\text{F}$$

Leyendo ahora en la misma gráfica el punto 4, tenemos un $L'/G_a = 1.03$.

5.- Area estimada del área de piso:

Con 25 pisos de 9" de espaciamiento entre cada uno, - tenemos una altura de empaque de:

$$(25 - 1) \left(\frac{9}{12} \right) = 18 \text{ ft.}$$

Por una interpolación lineal tendré con valores límites de G_a de 2000 y 1400.

$$\frac{40' - 12'}{40' - 18'} = \frac{2000 - 1400}{X}$$

$$X = \frac{22 (600)}{28} = 471.43 \frac{\text{lb}}{\text{hr. (ft}^2 \text{ de área)}}$$

donde X es el incremento de la masa velocidad del aire.

$$\text{Se sugiere entonces } G_a = 1400 + 471.43 = 1871.43 \frac{\text{lb}}{\text{hr (ft}^2)}$$

Para $L'G_a = 1.03$

$$L' = (1871.43)(1.03) = 1927.57 \frac{\text{lb}}{\text{hr (ft}^2)}$$

Para un gasto de 264.20 gpm:

$$\text{gasto en lb/hr} = (274.20) \left(\frac{8.33 \text{ lb}}{1 \text{ gal}} \right) = 137,045.16$$

$$\text{ft}^2 \text{ de área de piso} = \frac{137,045.16}{1,927.57} = 71.10$$

6.- Celdas de la torre.- Como en general vienen en módulos de 6 ft., se tratarán combinaciones de 18 ft x 12 ft = 216 ft² pues con celdas de 12 ft x 6 ft = 72 ft² el área ape

nas sobrepasa a la estipulada, siendo más conveniente sobrar la un poco como medida de seguridad; necesitándose entonces solo una celda.

Usando ésta área tendré:

$$L' = \frac{137045,16}{216} = 634.4678 \frac{\text{lb}}{\text{hr (ft}^2\text{)}}$$

$$G_a = \frac{634.4678}{1.03} = 615.988 \frac{\text{lb}}{\text{hr (ft}^2\text{)}}$$

7.- Caída de presión a través del empaque.

$$P' = N' B G_a^2 \left(\frac{0.0675}{G} \right) + N' C S_F (L) G_E^2 \left(\frac{0.0675}{G} \right)$$

G_E lo obtengo a partir de la figura 9-67 del Luidwing con los datos de G_a y S_F .

$$G_E = 3100$$

$$G = 0.07125 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$$

$$P' = (30) (0.34 \times 10^{-8}) (379441.22) (0.95) + (43.30) (0.11 \times 10^{-12}) (5.7763 \times 10^9)$$

$$P' = 3676785.42 \times 10^{-8} + 27.5125 \times 10^{-3} = 0.0643 \text{ in H}_2\text{O}$$

el cual es un valor muy aceptable.

8.- Pérdida por presión a través de las persianas para una torre de tiro inducido asumiendo que tienen 12" de longitud.

Area Total = (12) (1 celda) (2 lados) (6' de altura) = 144 ft²

ft² de área de piso total = (12) (18) (1) = 216 ft²

Masa velocidad del aire, lbs/hr = (615 988) (216) = 133053.40

$$\text{CFM}_{\text{entrada}} = \frac{(133053.4 \text{ lb/hr})}{(60 \text{ min/hr}) (0.075 \text{ lb/ft}^3)} = 29567.33$$

Velocidad a través de las persianas = $\frac{29567.33}{144} = 205.33 \text{ f pm}$

$$\frac{.32 - .0025}{x} = \frac{1600 - 50}{1600 - 205.33}$$

$$x = 0.2858 \text{ in H}_2\text{O}$$

9.- Pérdidas por presión a través de los eliminadores de brisa.

$$\frac{0.07 - .0075}{x} = \frac{2000 - 600}{2000 - 615.98}$$

$$x = 0.0618 \text{ in H}_2\text{O}$$

10.- Pérdidas totales de presión estática.

$$0.0618 + 0.2858 + 0.0643 = 0.4119 \text{ in H}_2\text{O}$$

11.- HP estimados para el ventilador.

$$\text{aire salido} = 0.067 \text{ lb/ft}^3$$

(cercana al 95% de saturación del agua caliente, condición del ventilador de tiro inducido).

$$\text{BHP} = \left(\frac{44351.14}{(0.067)(60)} \right) \left(\frac{0.4119}{(6356)(0.50)} \right) = 1.32$$

Potencia de la bomba.

La bomba tendrá que bombear el agua caliente, desde el tanque de almacenamiento situado en la parte inferior lateral de la torre hasta el sistema de esparido, que trabaja a una presión de 3.5 pulgadas. De acuerdo a los siguientes datos:

Gasto volúmetrico	-	274.206 P.M.
Diferencia entre el nivel de descarga y toma	-	20 pies 6.10 m.
Longitud de la tubería.	-	25 pies - 7.62 m.
Viscosidad del agua	-	0.000475 lb/ft seg.
Rugosidad de la tubería de hierro colado.	-	. 00085

para obtener el diámetro óptimo de la tubería que maneja el agua caliente es necesario que este proporcione el mínimo costo total, es decir, el mínimo costo inicial y el mínimo costo de operación, depreciación y mantenimiento, los cuales son un porcentaje fijo de los costos iniciales. El costo del bombeo debido a la caída de presión es inversamente proporcional al diámetro, pudiendo por un balance determinar el --

diámetro que de la mínima suma de estos dos.

El costo anual de la tubería se puede expresar como(1):

$$C_p = (a + b) (F + 1) \times D^n$$

donde n para tubería de acero es 1.5, mientras que el costo debido a la caída de presión se expresa como:

$$C_{pd} = \frac{0.0072 w^{2.84} \mu c^{.16} Yk}{D_1^{4.84} \rho^2 E}$$

El costo total anual es la suma de estos dos , y el mínimo costo se obtiene diferenciando C con respecto a D_i e igualando la derivada a cero.

La ecuación resultante es:

$$D_i = \frac{w^{0.448} \mu c^{0.025}}{\rho^{0.312}} \left[\frac{0.0232 Yk}{(a+b)(F+1) \times E} \right]^{0.158}$$

Para simplificar más esta ecuación, la expresión de costos entre paréntesis puede evaluarse para valores extremos y normales de variables; usando un valor resultante de 2.2 y como $\mu c^{0.025}$ es casi uno para muchos valores de viscosidad llegamos a una ecuación simplificada:

$$D_i = \frac{2.2 w^{0.45}}{\rho^{0.31}}$$

Sustituyendo valores tendremos:

(1) Robert H. Perry, " Chemical Engineering Handbook "; Mc - Graw Hill; 3th. Edition.

$$D_i = \frac{(2.2)(136.322)^{0.45}}{(62.3)^{0.31}}$$

$D_i = 5.454''$ tomaremos entonces una tubería de 5" cuyo D_i sería 5.047 in. Se escogió una tubería de diámetro menor para que la velocidad aumentara estando más cerca de la velocidad recomendada para agua.

Determino ahora la velocidad del fluido en la línea.

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{\pi D^2}$$

$$v = \frac{274.206 \times 12^2}{7.48 \times 60 \times 0.785 \times (5.047)^2} = 4.40 \text{ ft/seg.}$$

Aplicando un balance de energía entre los puntos de toma y descarga como hace 1 lb. de agua.

$$\bar{w} = \frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta v^2}{2g_c} + \Delta Z + h_{f_s}$$

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{3.5 \times 144}{62.3} = 8.09 \frac{\text{ft} - \text{lb}}{\text{lb}}$$

$$\frac{\Delta(v^2)}{2g_c} = \frac{(4.40)^2}{64.3} = 0.30 \frac{\text{ft} - \text{lb}}{\text{lb}}$$

$$\Delta Z = 20 \frac{\text{lb} - \text{ft}}{\text{lb}}$$

h_{f_s} por la ecuación de Fanning.

$$h_{f_s} = \frac{f v^2 L}{2g_c D_i}$$

Para obtener f es necesario contar con la rugosidad relativa y el número de R_e .

$$R_e = \frac{D_i v \rho}{\mu}$$

$$R_e = \frac{(0.30)(5.047)(62.3)}{(12)(0.000475)} = 16548.85$$

$$\frac{E}{D_i} = \frac{(0.00085)(12)}{(5.047)} = 0.00202$$

de donde y por la gráfica A - 24 del Crane.

Obtengo $f = 0.31$

Siendo la longitud total de la tubería la suma de la longitud de la tubería más la longitud equivalente de conexiones y válvulas tendremos:

Instalando 3 codos standar, una válvula de compuerta con un diámetro interno de:

EQUIPO	LONGITUD EQUIVALENTE.
3 codos standar	$30 \times 3 = 90$
1 válvula de compuerta	$\frac{13}{}$
	103

Siendo la longitud total de la tubería de:

$$L_T = L_t + L_e$$

$$L_T = 25 + 103 = 128$$

$$\text{siendo } h_{fs} = \frac{(0.031)(4.40)(128)(12)}{(64.3)(5.047)} = 0.65 \frac{\text{ft} - \text{lb}}{\text{lb}}$$

y el trabajo suministrado por una bomba a cada lb. de agua.

$$- \bar{w} = 8.09 + 0.30 + 20 + 0.65$$

$$- \bar{w} = 29.04 \frac{\text{ft} - \text{lb}}{\text{lb}}$$

La potencia necesaria para transportar $38.17 \frac{\text{lb de agua}}{\text{seg}}$

considerando una eficiencia del 50% del grupo motor bomba es entonces:

$$- \bar{w} = \frac{(29.04)(38.17)}{(550)(.50)} = 4.03 \text{ HP.}$$

C A P I T U L O V I I I .

ESTUDIO ECONOMICO.

I) ESTIMACION DE LA INVERSION.

1,- Torre de Enfriamiento.

a) Materiales.

i) Estructura: madera pino ponderosa tratada.

ii) Relleno: madera pino ponderosa tratada.

iii) Reductores: Serie 10 (2)

iv) Flechas: Serie Q - 1

v) Ventilador: H-3-6 aspas de 60"p.

vi) Caja: Asbesto cemento corrugado.

vii) Motores: de 5 H.P.

viii) Acceso superior: Escalera de madera.

(1)

TOTAL	\$ 91 740.00
b) Herraje de acero inoxidable	\$ 30 900.00
c) 1 Participación completa.	\$ 2 530.00
d) 2 Switches de vibración.	\$ 2 100.00

(1) Las cotizaciones fueron proporcionadas por Marley de México, S. A. de C. V.

e) 2 Válvulas de c. de 5"	\$ 3 910.00
f) Montaje.	<u>8 600.00</u>
	\$ 139 780.00
4% de I.S.I.M.	<u>\$ 5 591.20</u>
Total del Importe de la Orden.	\$ 145 371.20
2.- Bombas (2) Worthington de Mex.S.A.	\$ 161 500.00
3.- Pileta	\$ 63 500.00
4.- Instalación de tuberías.	\$ 100 000.00
5.- Instalación eléctrica.	<u>\$ 88 000.00</u>
	<u>\$ 558 371.20</u>
T O T A L	\$ 559 000.00

II. COSTOS DE OPERACION ANUALES.

1.- Mantenimiento de refacciones.	\$ 14 000.00
2.- Energía Eléctrica.	14 000.00
3.- Depreciación.	<u>56 000.00</u>
	\$ 84 000.00

Volúmen de agua = 545562 m³/AÑO

Costo del m³ de agua

$$\frac{84000 \text{ \$/AÑO}}{54562 \text{ m}^3/\text{AÑO}} = 0.15 \text{ \$/m}^3$$

El costo del mantenimiento y refacciones se obtuvo en base al 2.5% de la inversión total, mientras que el costo de la energía eléctrica se calculó a partir de los H.P. requeridos para el ventilador y la bomba de agua de la torre de enfriamiento-tomando a 0.50 centavos el Kw/hr.

C A P I T U L O I X.

DISCUSION DE RESULTADOS.

1.- Las hormonas esteroides juegan un papel muy importante dentro de la industria farmacéutica nacional, ya que el consumo de estas aumenta aproximadamente en un 10% cada año, sin considerar nuevos usos de estos productos como son: anestésicos, compuestos para combatir el cáncer, etc. Además la exportación de hormonas esteroides ocupa un lugar muy importante dentro de los productos manufacturados, mostrando siempre una tendencia ascendente, lo que constituye una muy importante entrada de divisas a México.

2.- Por lo anterior, cualquier mejora u optimización en las plantas de esteroides es de mucha importancia. Por lo mismo, esta tesis se enfocó a resolver un problema básico de la industria de hormonas esteroides en lo relativo a la recuperación del H_2O .

3.- En una torre de enfriamiento de agua, ésta se enfría de dos maneras: evaporación y transferencia de calor -

sensible al aire, así pues los efectos de la transferencia de masa y calor ya mencionados son decisivos en el diseño óptimo de la torre.

4.- Los diferentes medios de enfriamiento de agua, incluyendo los distintos tipos de torres de enfriamiento como son las de circulación natural en las que se incluyen: la torre atmosférica y la torre de tiro inducido natural; las de tiro mecánico en las que se incluyen: la torre de tiro forzado y la de tiro inducido nos presentan un amplio campo de elección de aquel medio de enfriamiento que sea más conveniente para nuestros propósitos. Esta selección se efectúa una vez hecho el análisis de cada alternativa tomando en cuenta las ventajas de operación y los usos particulares de cada una.

5.- La selección del equipo apropiado, que en este caso fué una torre de enfriamiento de tiro inducido con flujo a contracorriente, se llevó a cabo en base a los siguientes factores:

a) La necesidad de que el equipo presentara una mayor eficiencia al disminuir al máximo las pérdidas de agua por arrastre de vapor y al evitar que el equipo quedara sujeto a variaciones climatológicas.

b) La disponibilidad del terreno en la fábrica.

c) La necesidad de que el equipo fuera cerrado, ya --

que la zona de localización de la planta es una zona industrial en la que se producen humos contaminantes capaces de afectar el agua de la planta al ser éstos arrastrados por el aire.

d) El costo del equipo mismo.

6.- El aspecto de operación y mantenimiento constituyen un punto importante en esta tesis, ya que para tener un mayor aprovechamiento de la torre, se hace necesario un programa de inspección y mantenimiento periódico involucrando todos aquellos lugares susceptibles de atascamiento, los niveles y fugas de agua, así como los niveles y fugas de aceite, el apriete de tornillos y la inspección de las condiciones generales. Existen multitud de problemas de los cuales una torre de enfriamiento de agua puede ser objeto como por ejemplo la formación de espuma, el excesivo chorro de agua a través del relleno, que la torre no enfríe lo suficiente, -- ruidos extraños tanto en el motor y reductor como en el ventilador, la deterioración de la madera y vibraciones anormales en el equipo mecánico. El mejor método para solucionar los problemas que se pudieran presentar sería el hacer un análisis de las posibles causas del mismo y su solución. Dicho estudio se llevó a cabo en el capítulo V.

7.- Las variables más importantes que se analizaron-

fueron:

- a) La temperatura de la agua caliente.
- b) La temperatura de bulbo húmedo.

Estas dos temperaturas son la base del diseño pues nos indican el rango de operación de la torre de enfriamiento.

- c) El gasto de agua a manejar por el equipo.

Esta variable es necesaria para poder dimensionar correctamente la torre.

- d) El análisis químico del agua de enfriamiento.

Siendo convenientes utilizar un tratamiento de agua - para controlar la corrosión, fué necesario efectuar dicho análisis para que, en base al mismo y de acuerdo con una compañía especializada en tratamiento de aguas se eligiera el - tratamiento más conveniente para el agua de esta torre.

8.- El modelo matemático usado fué el propuesto por - Pritchard, pues es un método práctico que cuenta con la ayuda de muchas tablas y gráficas, las cuales facilitan el cálculo de una torre de enfriamiento de agua. Así mismo este modelo ha sido probado por numerosas compañías diseñadoras de torres de enfriamiento, obteniendo resultados favorables.

9.- La estimación de la inversión, se llevó a cabo tomando en consideración y con detalle los diferentes factores de que una torre de enfriamiento de agua se compone como son por ejemplo los materiales de la misma, el herraje, las vál

vulas y el montaje de los mismos. Se tomó en cuenta también el costo de las bombas de la construcción de la pileta de la torre y de la instalación eléctrica y de tuberías, resultando un total de \$ 558,371.20

Los costos de operación anuales se obtuvieron tomando en cuenta el mantenimiento de la torre, la energía eléctrica, la depreciación y las refacciones, dando un total de \$ 84,000.00 por un año.

10.- El costo promedio por metro cúbico de agua sale en \$ 0.15 por m^3 , a diferencia del precio que se tendría que pagar por metro cúbico de agua consumida al estado que sería de \$ 1.00.

C A P I T U L O X _

C O N C L U S I O N E S .

Por todo lo anteriormente expuesto y dado que el ahorro que se puede obtener por la instalación de una torre de enfriamiento de agua y de acuerdo al volumen mensual que maneja la planta ($1494.69 \text{ m}^3/\text{día}$) sería de \$ 38,114.60 por mes, el cual es atractivo para la empresa, se considera como una buena inversión y se recomienda que se proceda a la compra e instalación de la torre previamente calculada.

A P E N D I C E A.

INDICE DE ESQUEMAS.FIGURAS CORRESPONDIENTES AL CAPITULO II.

- Figura (2-1) Termómetro de bulbo húmedo.
- Figura (2-2) Carta Psicrométrica a la presión de la -
Ciudad de México.
- Figura (2-3) Representación de la operación de deshumi
dificación en contacto aire-agua.
- Figura (2-4) Equipo de deshumidificación a contra-co-
rriente.
- Figura (2-5) Representación de la humidificación en -
contacto aire-agua.
- Figura (2-6) Representación de los balances de materia
y energía en una torre empacada.
- Figura (2-7) Representación a lo largo del equipo de-
la entalpía total.
- Figura (2-8) Representación de la temperatura a lo lar
go del equipo.
- Figura (2-9) Representación de la gráfica de la (Ec.2-
36).

Figura (2-10) Obtención de condiciones de equilibrio-
e interfase.

FIGURAS CORRESPONDIENTES AL CAPITULO III.

Figura (3-1) Tanques deespreado.

Figura (3-2) Torre de enfriamiento atmosférica.

Figura (3-3) Componentes de una torre moderna de tiro-inducido natural.

Figura(3-4) Sección transversal de una torre de tiro-forzado.

Figura (3-5) Sección transversal de una torre de tiro-inducido a contracorriente.

FIGURAS CORRESPONDIENTES AL CAPITULO IV.

- Figura (4-1) Corte transversal de una torre de tiro - inducido y flujo cruzado.
- Figura (4-2) Torre de tipo flujo a contra-corriente.
- Figura (4-3a) Cubierta del ventilador.
- Figura (4-3b) Eliminadores de brisa.
- Figura. (4-4a) Persianas.
- Figura (4-4b) Empaque de tablillas.
- Figura (4-4c) Boquilla pulverizadora.
- Figura (4-5) Estructura del ventilador.
- Figura (4-6) Sección transversal parcial de un reductor de velocidad.
- Figura (4-7) Sistema de unión del motor con el reductor de velocidad.

FIGURAS CORRESPONDIENTES AL CAPITULO V.

Figura(5-1) Ciclo de trabajo de los equipos integrantes del área de extracción.

FIGURAS CORRESPONDIENTES AL CAPITULO VI.

Figura(6-1) Area de extracción de la planta productora de hormonas-esteroides.

B I B L I O G R A F I A .

- 1.- Badger Walter & Julius Banchero,
INTRODUCTION TO CHEMICAL ENGINEERING.
Mc Graw Hill,
Tokyo, 1955.
- 2.- Cecil K. Lawrence,
WATER REUSE AND DISPOSAL;
Chemical Engineering,
Vol. 76, Núm. 17, Mayo 1969.
- 3.- De Monbrun J. R.,
FACTORS TO CONSIDER IN SELECTING A COOLING TOWER.
Nuclear Div. Union Carbide Co.
Chemical Engineering. 1968.
- 4.- Evans U. R.,
METALLIC CORROSION AND PROTECTION.
Echoard Arnold Co.
England, 1948.
- 5.- Foust A. S.,
PRINCIPLES OF UNIT OPERATIONS,
Wiley Toppan,
London 1960.
- 6.- Friar Frederic,
COOLING TOWER BASIN DESIGN.
Chemical Engineering, Vol. 81, Núm. 15,
Julio 1974.
- 7.- Ing. Garfias Javier,
DISEÑO DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE AGUA DE TIRO -
INDUCIDO EN UNA FABRICA DE H_2SO_4 DE 25 TON. DIARIAS -
DE CAPACIDAD.
Tesis Profesional,
U.N.A.M. 1954.

- 8.- Herzog L. Hershel,
DIVERSAS FUENTES DE MATERIAS PRIMAS ESTERIOIDES PARA-
LA SINTESIS HORMONAL.
Revista de la Sociedad Química Mexicana,
1969.
- 9.- Hoffman C. H.,
CONSIDER WOOD FOR PROCESS PLANT USES.
Speciality Woods Inc.
Chemical Engineering.
Marzo 1972.
- 10.- Hougen O. A. & K. M. Wqtson,
CHEMICAL PROCESS PRINCIPLES CHARTS.
Mc. Graw Hill Book Co.
1950.
- 11.- Kals Walter,
WET SURFASE AIRE COOLERS,
Chemical Engineering, Vol. 78, núm. 17,
Julio 1971.
- 12.- Kally N. W. & L. K. Sweson,
COMPARATIVE PERFORMANCE OF COOLING TOWER PACKING ARRAN-
GEMENT,
Chemical Engineering, Prog. 152, p. 265,
1956.
- 13.- Kern Q. Donlad,
PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.
Compañía Editorial Continental,
México, 1974.
- 14.- Kuchmstead A. M.:
OPERATION AND MAENTENANCE OF COOLIN TOWERS.
Chemical Engineering, Vol. 78, Núm. 10,
Mayo 1971.
- 15.- De Llantada, Julian,
LA INDUSTRIA DEL BARBASCO, FUENTE DE DIVISAS Y FACTOR
DE TECNOLOGIA.
Novedades (30 diciembre de 1972).
- 16.- Ludwing E. Ernest,
APPLIED PROCESS DESIGN FOR CHEMICAL AND PETROCHEMICAL
PLANTS,
Volúmen 11,
Gulf Publishing Co.,
Houston, Texas, 1964.

- 17.- Mc. Kelvey Nc. de Brook,
COOLING TOWERS,
D. Van Nostrand Co.,
Princeton N. J. 1959.
- 18.- Perry H. H.
CHEMICAL ENGINEERING HANDBOOK,
Mc. Graw Hill Book Co,
3th. Edition, 1950.
- 19.- Perry H. Robert,
CHEMICAL ENGINEERING HANDBOOK,
Mc. Graw Hill Book Co,
5th. Edition,
Kogakusha, LTD,
México, 1975.
- 20.- Rohsenow W. M.
HEAT, MASS AND MOMENTUM TRANSFER
Prentice Hall,
Engtweek Cliff, N. J. 1960.
- 21.- Thomson A. R.
COOLING TOWERS
Chemical Engineering, Vol. 75, Núm. 22
Octubre 1968.
- 22.- Weast Robert,
HANDBOOK OF CHEMISTRY AND PHYSICS,
CRC. Press, 5th edition,
Cleveland, Ohio, 1973.
- 23.- Williamson M.,
COMPUTING PROPERTIES OF SATURATED STEAM
Chemical Engineering, Vol. 71, Núm 11
Mayo 1972.
- 24.- COOLING TOWER PERFORMANCE,
Bulletin, CT-43-2,
Foster Wheeler Corp. N. Y.
- 25.- COOLING TOWER WORD MAINTENANCE,
Cooling Tower Institute,
Palo Alto, Calif.
- 26.- COUNTER FLOW COOLING TOWER PERFORMANCE,
J.F. Pritchard Co.,
Kansas City, 1957.

- 27.- ESTIMATING COOLING TOWER COSTS FROM OPERATING DATA.
Chemical Engineering, Vol. 79, Núm. 13,
Junio 1972.
- 28.- FLOW OF FLUIDS THROUGH VALVES; FITTINGS AND PIPES.
Ed. By Engineering Division,
Crane, Co.
- 29.- LA INDUSTRIA DE HORMONAS ESTEROIDES EN MEXICO,
Simposium sobre Anticoncepción y Población.
1975.
- 30.- MANUAL DE OPERACION DE TORRES DE ENFRIAMIENTO.
Marley Co.
- 31.- MEXICO Y LA PILDORA,
Expansión, Revista de Negocios de México y Centroamérica,
Vol. I, Núm. 7,
1969.
- 32.- PLASTIC COOLING TOWER SAVES SPACE AND WEIGHT,
Chemical Engineering, Vol. 78, Núm. 2,
Enero, 1971.
- 33.- TECHNICAL SPECIFICATIONS.
Induced Draft Counter Flow Cooling Tower,
Ecodynes Cooling Products Division.
- 34.- TRIBUTO A UNA PLANTA, DIOSCOREA COMPOSITA.
El Mundo de Schering Corporation, Vol. III,
U.S.A. 1970.
- 35.- WATER POWERED TOWER CHILLS COOLING COSTS,
Chemical Engineering, Vol 76, Núm 12,
Junio 1969.